

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de  
Produção Agrícola Familiar



Tese

**Desempenho de genótipos de milho utilizados pela  
agricultura familiar no Território Zona Sul do RS: o  
modelo CERES-Maize no auxílio à tomada de  
decisões**

**Tales Antônio Amaral**

**Pelotas, 2015**

**Tales Antônio Amaral**  
Biólogo

**Desempenho de genótipos de milho utilizados pela agricultura familiar no Território Zona Sul do RS: o modelo CERES-Maize no auxílio à tomada de decisões**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: PhD. Ana Cláudia Rodrigues de Lima

Co-orientador: PhD. Camilo de Lelis Teixeira de Andrade

Pelotas, 2015

Dados de catalogação na fonte:  
(Gabriela Machado Lopes - CRB: 10/1842)

A111d Amaral, Tales Antônio

Desempenho de genótipos de milho utilizados pela agricultura familiar no território Zona Sul do RS: o modelo CERES-Maize no auxílio à tomada de decisões / Tales Antônio Amaral ; Ana Cláudia Rodrigues de Lima, orientadora ; Camilo de Lelis Teixeira de Andrade, coorientador. — Pelotas, 2015.

110 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

1. DSSAT. 2. Manejo. 3. *Zea mays* L.. 4. Modelagem. I. Lima, Ana Cláudia Rodrigues de, orient. II. Andrade, Camilo de Lelis Teixeira de, coorient. III. Título.

CDD : 633.15

Tales Antônio Amaral

**Desempenho de genótipos de milho utilizados pela agricultura familiar no Território Zona Sul do RS: o modelo CERES-Maize no auxílio à tomada de decisões.**

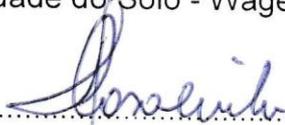
Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 24 de Fevereiro de 2015.

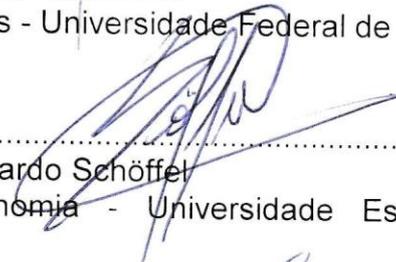
Banca Examinadora:



Prof. Dra. Ana Cláudia Rodrigues de Lima (Orientadora)  
Doutora em Qualidade do Solo - Wageningen University/Holanda



Prof. Dr. Helvio Debli Casalinho  
Doutor em Ciências - Universidade Federal de Pelotas/ Brasil



Prof. Dr. Edgar Ricardo Schöffel  
Doutor em Agronomia - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho/Brasil



Dr. Ênio Egon Sosinski Junior  
Doutor em Ecologia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Brasil



Dr. Ernesto Alvaro Martinez  
Doutor em Agronomia - Universidade Federal de Pelotas/ Brasil

Aos meus pais, João Batista do Amaral e  
Lindalva de Fátima Amaral, por todo incentivo.

OFEREÇO

A minha esposa, Simone Aline Pereira Amaral  
e minha filha Ana Luiza Amaral, pela  
compreensão e apoio.

Aos meus irmãos, Marco Polo Amaral e Laíse  
Helena Amaral.

DEDICO

## **Agradecimentos**

A minha filha Ana Luiza Amaral e minha esposa Simone Aline Pereira Amaral, pela compreensão nos momentos que estive longe, e pelo apoio incondicional para a realização do doutorado;

Aos meus pais João Batista do Amaral e Lindalva de Fátima Amaral, e aos meus irmãos Marco Polo Amaral e Laíse Helena Amaral pela presença e apoio constante, tanto para mim como para minha filha e esposa;

Ao meu sobrinho Luccius Amaral Seoldo, por ser sempre um companheiro e amigo da minha filha, quando não me fiz presente;

A Orientadora Ana Cláudia Rodrigues de Lima e ao Co-orientador Camilo de Lelis Teixeira de Andrade, pela compreensão, pela força e ajuda nos momentos difíceis;

Ao Professor Ricardo Nuno da Fonseca Garcia Pereira Braga, do Instituto Superior de Agronomia/Universidade de Lisboa por todo apoio e companheirismo, para a realização do Programa de Doutorado Sanduiche no Exterior (PDSE);

A todos os novos amigos, do Instituto Superior de Agronomia/Universidade de Lisboa, em especial aos professores Pedro Jorge Cravo Aguiar Pinto, José Paulo Pimentel De Castro Coelho e Maria Odete Pereira Torres;

Aos membros da banca examinadora;

Aos estagiários e funcionários da Embrapa Clima Temperado, pela ajuda na condução do ensaio;

Aos funcionários da Embrapa Milho e Sorgo, Francimar, Wilmar, Cleber, pela constante ajuda e incentivo;

Aos amigos de hospedagem na Associação de Empregados da Embrapa Milho e Sorgo, Alexandre Esteves, Paulo Brambila, Luiz Fernando, Leonardo, Ronaldo Adriano, pela amizade e apoio;

Aos colegas de curso, especialmente Raul Araújo, Gabriel Marques, Fábio Araujo, Clístenes Guadagnin, Nicolau Bussons, André Radünz, Samira Audeh, Manoela Vasques, pelo apoio e amizade para suportar a distância da família;

Aos estagiários da Embrapa Milho e Sorgo, Denise, Otávio, Jéssica, Talita, pela valiosa ajuda em todas as coletas de dados nos ensaios e pela grande amizade;

Aos estagiários da Universidade Federal de Pelotas, Tamires Ribeiro, Luiz Everton, Ronaldo Ribes, Rafael Buss e Augusto Maciel, pela valiosa ajuda em todas as coletas de dados nos ensaios

A minha avó Carmosina, pelas orações e incentivo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

A Embrapa Milho e Sorgo e Embrapa Clima Temperado pela oportunidade de realização dos trabalhos em sua área experimental.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar.

E a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização do trabalho.

## Resumo

AMARAL, Tales Antônio. **Desempenho de genótipos de milho utilizados pela agricultura familiar no Território Zona Sul do RS: o modelo CERES-Maize no auxílio à tomada de decisões**. 2015. 110 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O milho tem importância sócio-econômica significativa para os produtores familiares do Território Zona Sul do RS, por se caracterizar como cultura de pequena propriedade e pela extensa área de cultivo, entretanto baixas produtividades são reportadas para a cultura, no território. Estratégias de manejo podem ser utilizadas para alcançar melhores produtividades. A modelagem pode ser uma ferramenta muito útil neste caso, pois além de possibilitar a simulação de cenários diversos de manejo dos fatores de produção, permite o entendimento da dinâmica dos processos envolvidos no sistema e também o isolamento do efeito de alguns fatores na produtividade das culturas. O objetivo do trabalho foi analisar o desempenho e a viabilidade da produção de diferentes genótipos de milho empregados por agricultores familiares no Território Zona Sul do RS, utilizando o modelo CSM-CERES-Maize como ferramenta para simulação de cenários de manejo e para auxílio à tomada de decisões. Neste sentido, um ensaio para parametrização dos coeficientes genéticos específicos para os genótipos, Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, foi conduzido em uma propriedade rural, em Pelotas, RS, em condições otimizadas de manejo. O ensaio foi delineado em blocos ao acaso, com quatro repetições. Posteriormente, foram coletados dados junto a um produtor rural, no município de Canguçu, RS, para avaliação da capacidade preditiva do modelo. As parcelas para coleta de dados foram distribuídas, com quatro repetições, ao acaso ao longo da lavoura. A qualidade das simulações foi avaliada empregando-se as estatísticas índice “d” de concordância e o quadrado médio do erro (RMSE). A ferramenta de análise sazonal foi utilizada para se avaliar o efeito inter-anual e sazonal das condições meteorológicas no desempenho dos genótipos de milho, em regime de sequeiro, em Canguçu, RS. Maiores valores de produtividade de grãos observados no ensaio para parametrização, foram para os híbridos AG 5011 e AG 122, sendo que menores valores para a variedade crioula Amarelão. Valores de RMSE ficaram abaixo de 17,8%, e índice de concordância d acima de 0,83, indicando boa qualidade das simulações e elevada concordância entre os dados simulados e observados. No ensaio para avaliação as produtividades foram adequadamente simuladas pelo modelo, valores de RMSE ficaram abaixo de 15,4% e d acima de 0,96. Aceitando-se uma quebra na produtividade de grãos de até 10%, janelas de semeadura são maiores para a variedade AL 30, se estendendo de 12 de dezembro a 13 de fevereiro, e são menores para os dois híbridos AG 5011 e AG 122, se estendendo de 26 de dezembro a 06 de fevereiro. Para a produtividade de silagem, em todas os genótipos, semeaduras podem ser realizadas entre 26 de junho a 19 de dezembro, sem que haja chances de se ultrapassar a data limite para a colheita (21 de junho). Energia por unidade de peso de biomassa colhida (EPUWHB), tiveram valores superiores a  $0,91 \text{ UFL kg}^{-1}$ , indicando silagem de boa qualidade para todos os genótipos.

**Palavras-chave:** DSSAT, manejo, *Zea mays* L., modelagem.

## Abstract

AMARAL, Tales Antônio. **Performance of maize genotypes used by family farmers in the Território Zona Sul in RS: CERES-Maize model aiding decision-making.** 2015. 110f. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Graduate Program in Agricultural Family Production Systems. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

Maize has a significant socio-economic importance for family farmers in the Território Zona Sul in RS, as it may be characterized as a croft crop by the extent of the cultivated area in the territory, although low yields have been reported regarding this culture. Management strategies may be used to increase the yield. Modeling may be a very useful tool in this case, as it allows a simulation of various management scenarios of production factors in addition to enabling the understanding of the dynamics of processes involved in the system and also the isolation of some factor's effects over the yield of the crop. The aim of this study was to analyze the performance and viability of different maize genotypes employed by family farmers in the Território Zona Sul in RS, using the CSM-CERES-Maize model as a simulation tool for management scenarios and for support in the decision-making. Thus, an experiment for the parameterization of specific genetic coefficients for the genotypes Amarelão, AL 30, AG 5011 and AG 122, which was conducted in a farm in Pelotas, RS, under optimized management conditions. The experiment was designed in random blocks, with four replicates. Subsequently, data was collected from a farmer, in the city of Cangaçu, RS, in order to evaluate the model's predictive capacity. The plots for data collection were randomly distributed with four replicates throughout the plantation. The quality of the simulations was assessed by using the statistics index "d" for agreement and the root of the mean square error (RMSE). The seasonal analysis tool was used to evaluate the inter-annual and seasonal effect of weather conditions over the performance of maize genotypes in a dryland regimen, in Cangaçu, RS. The hybrids AG 5011 and AG 122 have presented the highest yield values in the experiment for the parameterization, as the lowest values have been found for the variety crioula Amarelão. RMSE values remained under 17.8%, and the agreement d index over 0.83, which indicates good simulation quality and high agreement among the simulated and observed data. In the experiment for the assessment the yields were adequately simulated by the model, RMSE values remained under 15.4% and d over 0.96. Taking into account a break in grain productivity of up to 10%, sowing windows are longer for the variety AL 30, extending from December 12<sup>th</sup> to February 13<sup>th</sup> and are shorter for the two hybrids, AG 5011 and AG 122, which extends from December 26<sup>th</sup> to February 6<sup>th</sup>. For silage yield, all genotypes may be sown between July 26<sup>th</sup> and December 19<sup>th</sup> with no chances of missing the deadline for harvest (June 21<sup>st</sup>). Energy per unit of weight of harvested biomass (EPUWHB) presented values higher than 0.91UFL kg<sup>-1</sup>, which indicate good silage quality for all genotypes.

**Key words:** DSSAT, management, *Zea mays* L., modeling.

## Lista de Figuras

### METODOLOGIA GERAL

<b>Figura 1</b>	Localização espacial do ensaio de parametrização do modelo em Pelotas, RS.....	26
<b>Figura 2</b>	Localização espacial do ensaio de avaliação da capacidade preditiva do modelo, em Canguçu, RS.....	27
<b>Figura 3</b>	Área onde foi instalado o ensaio para parametrização do modelo, em Pelotas, RS.....	28
<b>Figura 4</b>	Croqui da área do ensaio para parametrização do modelo realizado em Pelotas, RS.....	29
<b>Figura 5</b>	Área onde foram coletados dados para avaliação da capacidade preditiva do modelo, em Canguçu, RS.....	31

### CAPÍTULO 1

<b>Figura 1</b>	Precipitação e irrigação (A), Temperatura máxima (TMAX), mínima (TMIN) e média (TMED) diária (B) e radiação solar (C) ao longo do ciclo da cultura dos genótipos, nos ensaios para parametrização e validação do modelo.....	36
<b>Figura 2</b>	Produtividade de grãos simulada e observada para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, após a parametrização do modelo, no município de Pelotas, RS.....	45
<b>Figura 3</b>	Fitomassa seca da parte aérea, simulada e observada para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, após a parametrização do modelo, no município de Pelotas, RS.....	46
<b>Figura 4</b>	Número de folhas, simulado e observado para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, após a parametrização do modelo, no município de Pelotas, RS.....	46
<b>Figura 5</b>	Índice de área foliar (IAF), simulado e observado para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, após a parametrização do modelo, no município de Pelotas, RS.....	47
<b>Figura 6</b>	Produtividade de grãos, simulada e observada para os genótipos Amarelão e AL 30, após a validação do modelo, no município de Canguçu, RS.....	51

<b>Figura 7</b>	Fitomassa seca da parte aérea, simulada e observada para os genótipos Amarelão e AL 30, após a validação do modelo, no município de Canguçu, RS.....	52
<b>Figura 8</b>	Número de folhas, simulado e observado para os genótipos Amarelão e AL 30, após a validação do modelo, no município de Canguçu, RS.....	52

## CAPÍTULO 2

<b>Figura 1</b>	Varição da produtividade de grãos para os genótipos Amarelão (A) e AL 30 (B), para as diferentes datas de semeadura, para as condições do município de Canguçu, RS.....	61
<b>Figura 2</b>	Varição da produtividade de grãos para os genótipos AG 5011 (A) e AG 122 (B), para as diferentes datas de semeadura, para as condições do município de Canguçu, RS.....	62
<b>Figura 3</b>	Produtividade média de grãos de milho em função da data da semeadura, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122. Canguçu, RS.....	63
<b>Figura 4</b>	Redução média da produtividade de grãos de milho em função da data da semeadura, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122. Canguçu, RS.....	65

## CAPÍTULO 3

<b>Figura 1</b>	Média mensal da temperatura do ar (A), precipitação (B) e radiação solar (C) entre 1992 - 2013, para Pelotas, RS, Brasil.....	71
<b>Figura 2</b>	Porcentagem de chance de se ultrapassar a data limite (21 de Junho) para colheita da silagem, para os genótipos Amarelão (A) e AL 30 (B), em diferentes datas de semeadura e doses de nitrogênio.....	76
<b>Figura 3</b>	Porcentagem de chance de se ultrapassar a data limite (21 de Junho) para colheita da silagem, para os genótipos AG 5011 (A) e AG 122 (B), em diferentes datas de semeadura e doses de nitrogênio.....	77
<b>Figura 4</b>	Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à fitomassa seca total da parte aérea – Silagem, para os genótipos: Amarelão (A) e AL 30	

	(B), para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.....	79
<b>Figura 5</b>	Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à fitomassa seca total da parte aérea – Silagem, para os genótipos: AG 5011 (A) e AG 122 (B), para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.....	80
<b>Figura 6</b>	Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à energia por unidade de peso de fitomassa – EPUWHB, para os genótipos: Amarelão (A) e AL 30 (B), para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.....	82
<b>Figura 7</b>	Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à energia por unidade de peso de fitomassa – EPUWHB, para os genótipos: AG 5011 (A) e AG 122 (B), para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.....	83
<b>Figura 8</b>	Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à energia por unidade de área – EPUA, para os genótipos: Amarelão (A) e AL 30, para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.....	85
<b>Figura 9</b>	Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à energia por unidade de área – EPUA, para os genótipos: AG 5011 (A) e AG 122 (B), para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.....	86
<b>Figura 10</b>	Variação da produção de silagem do milho crioulo Amarelão para as diferentes estratégias de fertilização, em diferentes datas de semeadura.....	92
<b>Figura 11</b>	Variação da produção de silagem da variedade AL 30 para as diferentes estratégias de fertilização, em diferentes datas de semeadura.....	93
<b>Figura 12</b>	Variação da produção de silagem do híbrido simples AG 5011 para as diferentes estratégias de fertilização, em diferentes datas de semeadura.....	94
<b>Figura 13</b>	Variação da produção de silagem do híbrido triplo AG 122 para as diferentes estratégias de fertilização, em diferentes datas de semeadura.....	95

## Lista de Tabelas

### CAPÍTULO 1

<b>Tabela 1</b>	Características do perfil do solo no ensaio de parametrização, em Pelotas, RS.....	38
<b>Tabela 2</b>	Características do perfil do solo no ensaio de validação, em Canguçu, RS.....	38
<b>Tabela 3</b>	Teor de água no solo, concentração de Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) e Amônio (N-NH <sub>4</sub> ), no ensaio de parametrização, em Pelotas, RS.....	41
<b>Tabela 4</b>	Teor de água no solo, concentração de Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) e Amônio (N-NH <sub>4</sub> ), no ensaio de avaliação, em Canguçu, RS.....	42
<b>Tabela 5</b>	Duração em dias da semeadura à antese e a maturação fisiológica observadas e simuladas, para o ensaio de parametrização do modelo, em Pelotas, RS.....	49
<b>Tabela 6</b>	Coeficientes genéticos específicos dos quatro genótipos.....	50
<b>Tabela 7</b>	Duração em dias da semeadura à antese e a maturação fisiológica, observadas e simuladas para o ensaio de avaliação do modelo, em Canguçu, RS.....	54

### CAPÍTULO 2

<b>Tabela 1</b>	Características do perfil do solo, para as simulações no modo sazonal, para o município de Canguçu, RS.....	57
<b>Tabela 2</b>	Identificação das datas de semeadura simuladas, para o município de Canguçu, RS.....	58

### CAPÍTULO 3

<b>Tabela 1</b>	Características do perfil do solo, para as simulações no modo sazonal, para o município de Canguçu, RS.....	70
<b>Tabela 2</b>	Identificação das datas de semeadura simuladas.....	72
<b>Tabela 3</b>	Produtividade de grãos para diferentes genótipos, e diferentes doses de nitrogênio, semeadura 19 de dezembro, em Canguçu, RS.....	88

<b>Tabela 4</b>	Produtividade de silagem para diferentes genótipos, e diferentes doses de nitrogênio, semeadura 19 de dezembro, em Canguçu, RS.....	88
<b>Tabela 5</b>	Energia por unidade de peso de fitomassa (EPUWHB) para diferentes genótipos, e diferentes doses de nitrogênio, semeadura 19 de dezembro, em Canguçu, RS.....	88
<b>Tabela 6</b>	Energia por unidade de área (EPUA) para diferentes genótipos, e diferentes doses de nitrogênio, semeadura 19 de dezembro, em Canguçu, RS.....	89

## Sumário

Resumo .....	6
Abstract .....	7
Lista de Figuras.....	8
Lista de Tabelas.....	11
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Agricultura familiar no Brasil no Território Zona Sul do Rio Grande do Sul.....	17
2.2 Produção de milho pela agricultura familiar no Território Zona Sul do Rio Grande do Sul.....	18
2.3 Modelagem como auxílio a tomada de decisões de manejo para a cultura do milho.....	19
2.4 Descrição do DSSAT.....	22
2.5 Generalidades dos modelos Ceres.....	22
2.6 O modelo CERES-Maize.....	23
<b>3 METODOLOGIA GERAL.....</b>	<b>26</b>
3.1 Caracterização da Área de Estudo.....	26
3.2 Escolha de Genótipos.....	27
3.3 Ensaio para parametrização do modelo CSM-CERES-Maize.....	28
3.4 Avaliação da capacidade preditiva do modelo CSM-CERES-Maize.....	30
3.5 Dados meteorológicos.....	31
3.6 Dados de solo.....	32
3.7 Simulações de cenários de manejo da cultura do milho.....	32
<b>CAPÍTULO 1 - PARAMETRIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO CSM-CERES-Maize PARA GENÓTIPOS UTILIZADOS POR PRODUTORES FAMILIARES NO TERRITÓRIO ZONA SUL DO RIO GRANDE DO SUL.....</b>	<b>33</b>
Introdução.....	33
Material e métodos.....	35
Resultados e discussão.....	43
Conclusão.....	54

<b>CAPÍTULO 2 - UTILIZAÇÃO DO MODELO CSM-CERES-Maize COMO FERRAMENTA NA DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE SEMEADURA DE MILHO NO MUNICÍPIO DE CANGUÇU, RS.....</b>	<b>55</b>
Introdução.....	55
Material e métodos.....	56
Resultados e discussão.....	59
Conclusões.....	66
<b>CAPÍTULO 3 - UTILIZAÇÃO DO MODELO CSM-CERES-Maize COMO FERRAMENTA NA DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO DE SILAGEM NO MUNICÍPIO DE CANGUÇU, RS.....</b>	<b>67</b>
Introdução.....	67
Material e métodos.....	69
Resultados e discussão.....	75
Conclusões.....	96
<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>97</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>98</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O território Zona Sul do Rio Grande do Sul, caracteriza-se por ser grande produtor de alimentos, principalmente na zona colonial, na encosta do escudo Sul Rio-grandense, onde a diversidade étnica (Alemães, Pomeranos, Franceses, Italianos e Quilombolas) originou o que hoje se chama de agricultura de base familiar. Observam-se a partir deste mosaico sociocultural, alguns sistemas produtivos com características peculiares e definidas, destacando-se o sistema convencional, que se caracteriza pela dependência de insumos externos; reposição de nutrientes através de fertilizantes sintéticos; utilização de agrotóxicos para combate de insetos, doenças e plantas concorrentes; utilização de sementes híbridas e ou geneticamente modificadas; e sem adoção de práticas conservacionistas (BONILLA, 1992).

Esses pequenos estabelecimentos produzem uma diversidade de produtos agrícolas, entre os quais o milho, que faz parte da base da alimentação do povo brasileiro. Estima-se que 46% da produção de milho no Brasil provêm de pequenas propriedades, sendo cultivado em cerca de 55% dos estabelecimentos familiares (INCRA, 2014). A produtividade média anual de milho no ano de 2013 para o município de Pelotas e Canguçu foi de 4.800 e 3.000 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, estando ambas abaixo da média da produtividade do país e do estado do Rio Grande do Sul, que foram de 5.358 e 5.398 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (IBGE, 2015).

Para Cruz et al. (2011), o primeiro passo na produção de uma cultura é a escolha da semente. O rendimento de uma lavoura de milho é o resultado do potencial genético da semente e das condições edafoclimáticas do local de semeadura, além do manejo da cultura. De modo geral, o genótipo é responsável por 50% do rendimento final. Conseqüentemente, a escolha correta da semente pode ser a razão do sucesso ou insucesso da lavoura. Para a safra de 2011/12, foram disponibilizadas 489 genótipos de milho (sendo 316 genótipos convencionais e 173 genótipos transgênicos). A dinâmica de renovação dos genótipos foi mantida, sendo 72 novos genótipos acrescentadas e 81 deixaram de ser comercializadas (CRUZ et al., 2011).

A resposta da cultura do milho em termos de produção de fitomassa e produtividade de grãos dependem de um grande número de fatores que interagem entre si, considerando que alguns destes fatores são muito dinâmicos, como por

exemplo as condições meteorológicas. A modelagem pode ser uma ferramenta muito útil neste caso, pois além de possibilitar a simulação de cenários diversos de manejo dos fatores de produção, permite o entendimento dos processos e o isolamento do efeito de alguns fatores na produtividade das culturas. Os modelos de crescimento de culturas, entre os quais o DSSAT (*DecisionSupport System for Agrotechnology Transfer*) (JONES et al., 2003), possibilita a análise da dinâmica da água, solo e nutrientes, do efeito das práticas de manejo das culturas e da rentabilidade das explorações.

Vários trabalhos têm demonstrado a eficiência do modelo DSSAT no auxílio à tomada de decisões de manejo (AMARAL et al., 2009; PEREIRA et al., 2010; LOBELL et al., 2010; AMARAL et al., 2011; ANDRADE et al., 2011; ALVES et al., 2012; HE et al., 2012; DeJONGE et al., 2012; ANOTHAI et al., 2013; PAIXÃO et al., 2013; SILVA et al., 2013; ZHAO et al., 2013; AMARAL et al., 2015a; AMARAL et al., 2015b). Entretanto, poucos utilizam o modelo no auxílio à tomada de decisões de manejo voltadas para a agricultura de base familiar. Neste caso o modelo CSM-CERES-Maize, pode ser utilizado para analisar os efeitos de diferentes práticas de manejo, ajudando na determinação da melhor decisão. Com a utilização do modelo um grande número de diferentes práticas agrícolas, podem ser avaliadas rapidamente e com baixo custo; cada estratégia pode ser avaliada em um amplo intervalo de condições incertas, como por exemplo, as condições meteorológicas; e, pode-se avaliar complexas estratégias de manejo interagindo com diversas decisões como irrigação, fertilização, datas de semeadura, dentre outras (BOOGES e RITCHIE, 1988). O modelo permite analisar detalhadamente os diversos componentes da produção, possibilitando uma visão integrada de sua participação no sistema. Apesar da complexidade envolvida na construção de modelos, os esforços são compensados em função de sua grande aplicabilidade, que auxilia o agricultor na tomada de decisão, permitindo a organização racional de questões envolvendo distribuição, armazenamento, comercialização do produto agrícola, entre outras (GEDANKEN, 1998).

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi analisar o desempenho e a viabilidade da produção de quatro genótipos de milho empregadas por agricultores familiares no Território Zona Sul do Rio Grande do Sul, utilizando o modelo CSM-CERES-Maize como ferramenta para simulação de cenários de manejo e para auxílio à tomada de decisão pelos agricultores da região.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Agricultura familiar no Brasil e no Território Zona Sul do Rio Grande do Sul**

Para atender a demanda do Ministério do Desenvolvimento Agrário, o Censo Agropecuário 2006 adotou o conceito de “agricultura familiar”, conforme a Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. A agricultura familiar compreende grande diversidade cultural, social e econômica, podendo variar desde o campesinato tradicional até a pequena produção modernizada. As principais características dos agricultores familiares compreendem a maior independência de insumos externos à propriedade e o fato da produção agrícola ser dirigida principalmente para atender as necessidades do grupo familiar (CRUZ et al., 2006).

No Censo Agropecuário de 2006 foram identificados 4.367.902 estabelecimentos de agricultura familiar, representando 84,4% do total, mas ocupando apenas 24,3% (ou 80,25 milhões de hectares) da área dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. Já os estabelecimentos não familiares representavam, neste último senso, 15,6% do total e ocupavam 75,7% da sua área. Dos 80,25 milhões de hectares da agricultura familiar, 45% eram destinados a pastagens, 28% a florestas e 22% a lavouras. Ainda assim, a agricultura familiar mostrou seu peso na cesta básica do brasileiro, pois era responsável por 87% da produção nacional de mandioca, 70% da produção de feijão, 46% do milho, 38% do café, 34% do arroz, 21% do trigo e, na pecuária, 58% do leite, 59% do plantel de suínos, 50% das aves e 30% dos bovinos.

Apesar do território zona sul do Rio Grande do Sul ser colocado como de grandes propriedades, dedicadas à pecuária extensiva e rizicultura, nesta região existem microrregiões com um grande número de pequenas propriedades baseadas na agricultura familiar. Fazem parte do Território Zona Sul do RS, os municípios de Aceguá, Amaral Ferrador, Arroio do Padre, Arroio Grande, Candiota, Canguçu, Capão do Leão, Cerrito, Chuí, Cristal, Herval, Hulha Negra, Jaguarão, Morro Redondo, Pedras Altas, Pedro Osório, Pelotas, Pinheiro Machado, Piratini, Rio Grande, Santana da Boa Vista, Santa Vitória do Palmar, São José do Norte, São

Lourenço do Sul e Turuçu. Esses municípios ocupam 39.960 Km<sup>2</sup> e dos seus 841.722 habitantes, 152.351 (18,10%) vivem na área rural. No município de Canguçu, por exemplo, fundado em 28 de janeiro de 1857, possui uma área de 3.518 km<sup>2</sup> e uma população total de 51.427 residentes, dos quais 17.685 cidadãos (34,40% da população) residem na zona urbana, e 33.742 cidadãos (65,60% da população) residem nas áreas rurais (IBGE, 2006). A economia de Canguçu é essencialmente agropastoril. O município conta com uma agricultura bem diversificada, destacando-se o fumo, pêsego, feijão e milho. A pecuária possui um expressivo rebanho bovino de corte e de leite, que no ano de 2013 contava com 140.276 cabeças (IBGE, 2015).

## **2.2 Produção de milho pela agricultura familiar no Território Zona Sul do Rio Grande do Sul**

O milho tem importância sócio-econômica significativa no estado do Rio Grande do Sul (RS), por se caracterizar como cultura de pequena propriedade e pela extensa área de cultivo. Segundo o senso Agropecuário de 2006, a agricultura familiar no RS, conta com 226.311 estabelecimentos produtores de milho, com uma área colhida de 908.615 ha, sendo a quantidade produzida de 3.480.534.741 kg, perfazendo um valor total da produção de R\$ 902.496.773 (IBGE, 2006).

O agricultor familiar, produtor de milho na região, é regularmente citado como sendo de baixa tecnologia. Esse fato, no entanto, devido à ampla variabilidade cultural, social e econômica, não ocorre para todos os agricultores. Deve-se considerar que baixo insumo não é baixa tecnologia. Lavouras de agricultores familiares que utilizam baixa adubação não devem ser consideradas de baixa tecnologia, pois utilizam baixos insumos externos. Muitos desses agricultores utilizam todos os recursos fitotécnicos disponíveis, como o controle de plantas concorrentes, a densidade de plantas adequada para a consorciação, genótipos com baixo valor de custo de semente, mas que possuem alta estabilidade fenotípica. Portanto, deve-se dissociar baixa tecnologia de baixo insumo. A quase totalidade dos produtores de milho (94%) caracteriza-se como agricultores familiares com baixa utilização de insumos e em condições desfavoráveis, seja do ponto de vista técnico, econômico, político e social (AGRICULTURA, 2006).

Geralmente os agricultores familiares do território zona sul do RS, utilizam em suas lavouras três tipos de genótipos: as variedades tradicionais ou locais (crioulas), as variedades melhoradas e os híbridos. As variedades melhoradas possibilitam fornecer aos agricultores sementes de custo mais baixo e são mais produtivas que as variedades tradicionais ou locais. As variedades podem apresentar uma maior estabilidade de produção, porém são inferiores aos híbridos em rendimento e uniformidade. São utilizadas com sucesso, principalmente em regiões onde a utilização de híbridos é dificultada (CRUZ et al., 2011).

Pode-se destacar, segundo esses mesmos autores, que um ponto negativo da utilização de sementes de híbridos por agricultores familiares, é que essas devem ser adquiridas no comércio todo ano. Se o agricultor semear as sementes colhidas de sua lavoura de milho híbrido, terá, como consequência uma diminuição na sua produtividade. Os híbridos são mais utilizados nas regiões de agricultura mais tecnificada e atingem maior teto de produção, sendo mais uniformes que variedades.

### **2.3 Modelagem como auxílio a tomada de decisões de manejo para a cultura do milho**

A análise das interações às quais as culturas são submetidas, entre as quais aquelas envolvendo condições edafoclimáticas, é complexa, mas pode ser facilitada com a utilização de modelos de simulação, que permitem entender os processos e isolar os efeitos dos fatores. Um modelo que vem se destacando no auxílio à tomada de decisões de manejo, para várias culturas, é o DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) (JONES et al., 2003). Esta ferramenta possibilita a análise da dinâmica da água, solo e nutrientes, do efeito das práticas de manejo das culturas e da rentabilidade das explorações.

No que diz respeito à pesquisa científica, voltada para a agricultura familiar, há amplas possibilidades de aplicação de modelos de simulação da cultura do milho, principalmente nas áreas de avaliação de interações genótipo x ambiente, caracterização de ambientes para instalação de ensaios, caracterização de seca, manejo de nitrogênio e de água, épocas de semeadura, avaliação de efeitos de mudanças meteorológicas no desempenho das culturas, entre outros. Com relação às questões ambientais, modelos de simulação podem ser empregados para avaliar riscos de lixiviação de nitrato em sistemas de produção que envolvam fertilização

química convencional (ANDRADE et al., 2009a; ANDRADE et al., 2009b). Portanto, modelos são ferramentas extremamente úteis e necessárias quando os efeitos nas culturas dependem de interações complexas com o solo, com as condições meteorológicas e com outras decisões relacionadas ao próprio manejo do agroecossistema. No entanto, essas ferramentas não devem ser consideradas como o objetivo final e sim para o alcance de outras finalidades mais aplicadas, relacionadas, por exemplo, com os sistemas de produção agrícola (JONES et al., 2006).

Vários trabalhos têm demonstrado a eficiência do modelo DSSAT no auxílio à tomada de decisões de manejo no Brasil e no exterior. Anothai et al., (2013), utilizaram o modelo CSM-CERES-Maize com objetivo de avaliar a simulação de desenvolvimento e produtividade do milho, evapotranspiração e umidade do solo, com base em dois métodos distintos de cálculo da Evapotranspiração (ET), Priestley–Taylor e FAO-56 Penman–Monteith, em condições semi-áridas, em Greeley, Colorado, EUA, e concluíram que o modelo CSM-CERES-Maize, quando as duas abordagens para cálculo da ET foram utilizadas, (Priestley–Taylor e FAO-56 Penman–Monteith), foi capaz de simular as respostas para o desenvolvimento e a produtividade das plantas, bem como ET e conteúdo de água no solo sob diferentes regimes de irrigação.

No Brasil, empregou-se resultados de simulações também com o modelo CERES-Maize para o desenvolvimento de uma metodologia para auxiliar na tomada de decisão quanto ao período de semeadura de milho em Sete Lagoas, MG (AMARAL et al., 2009), neste estudo dois critérios de decisão foram preparados. No primeiro, o período de semeadura é definido com base num valor de redução da produtividade da cultura, em relação a um valor médio histórico, que estaria o tomador de decisão disposto a tolerar. No segundo, o período de semeadura é definido com base na probabilidade de ocorrência de certo patamar de produtividade. Quanto menor fosse o patamar, maiores seriam as chances de ocorrência de produtividades acima do patamar, porém aumentariam os riscos de ocorrência de menores produtividades. Concluiu-se, neste estudo, que em ambos os casos, cabe ao tomador de decisão definir o risco que estaria disposto a correr. O modelo CSM-Ceres-Maize mostrou ser uma ferramenta interessante para se definir estratégia de semeadura do milho.

Soler et al. (2007), avaliaram o modelo CSM-CERES-Maize, para sua capacidade de simular o crescimento, o desenvolvimento, a produtividade de grãos para quatro híbridos de milho com maturidade diferentes, semeados na safrinha, na região de Piracicaba, SP, região subtropical do Brasil. Foi estudado o impacto de diferentes épocas de semeadura sobre o desempenho do milho em condições de sequeiro e irrigado. A avaliação do CSM-CERES-Maize mostrou que o modelo foi capaz de simular a fenologia e produtividade de grãos para os quatro híbridos com precisão, com Quadrado Médio do Erro (RMSE) expresso em porcentagem, inferior a 15%. A análise mostrou que atraso na data de semeadura, pode causar diminuição de 55% no rendimento médio, para o regime de sequeiro, e de 21% para as condições irrigadas, para todos os híbridos.

Outros pesquisadores como Porter et al. (2009) forneceram uma visão geral da arquitetura do modelo DSSAT e detalharam a capacidade de modelagem da matéria orgânica do solo. Amaral et al. (2011), utilizaram o modelo para definir uma janela de semeadura para a cultura do milho irrigado, com base em resultados de simulação realizados para as condições de manejo da cultura na Fazenda do Riacho, localizada no município de Matozinhos, MG. No estudo a ferramenta de análise sazonal do modelo, juntamente com um conjunto de dados contendo 46 anos de registros de dados diários meteorológicos, foram utilizados para simular a produtividade do milho para cenários semanais de semeadura, onde foi definida uma janela de semeadura do milho irrigado. O modelo provou ser ferramenta interessante para auxiliar na tomada de decisão, sobre colheita e manejo da irrigação. A produtividade da água foi simulada com o modelo, para a cultura do milho irrigado semeado em diferentes datas, para as condições de manejo da Fazenda do Riacho, localizada no município de Matozinhos, MG, onde foram observadas grandes amplitudes sazonais e interanuais na exigência hídrica da cultura e dos valores de produtividade de água. O modelo de simulação provou, neste caso, ser uma ferramenta útil também para o planejamento e otimização de uso dos recursos hídricos (ANDRADE et al, 2011). O mesmo modelo foi também utilizado para avaliar o uso de diferentes estratégias de manejo cultural para mitigar o efeito de mudanças meteorológicas na cultura do milho em Sete Lagoas, MG (AMARAL et al., 2014a; AMARAL et al., 2014b; SILVA et al., 2014). Em estudos conduzidos para as condições edafoclimáticas de Sete Lagoas, MG, o modelo foi empregado para avaliar a eficiência técnica e econômica da utilização de cama de frango como

fontes alternativas de adubação nitrogenada (AMARAL et al., 2015a; AMARAL et al., 2015b). Entretanto, com base no exposto, ainda são raras as pesquisas que utilizam o modelo no auxílio à tomada de decisões de manejo voltadas para a agricultura familiar, em busca de resultados sobre a produtividade de diferentes genótipos, utilizando, também como locus de pesquisa, um agroecossistema conduzido pelo agricultor.

## **2.4 Descrição do DSSAT**

O DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) é um sistema composto por modelos de simulação de 27 culturas diferentes e permite realizar simulações que integrem os efeitos do solo, da produção e partição da fitomassa na planta, da fenologia da cultura, das condições meteorológicas e das condições de manejo. É um dos principais produtos do projeto IBSNAT (*International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer*), elaborado pelo consórcio ICASA (*International Consortium for Agricultural Systems Applications*), coordenado pela Universidade do Havaí e com colaboradores de vários países (ICASA, 2011).

Antes da iniciativa do IBSNAT, muitos modelos de culturas já eram disponíveis, mas utilizavam estruturas de dados e arquivos diferentes e possuíam diferentes modos operacionais. A necessidade de tornar esses modelos compatíveis foi o que estimulou e levou a concepção do DSSAT (JONES et al., 2003). No DSSAT todos os modelos foram combinados num sistema modular denominado *Crop System Model* (CSM). O CSM usa o mesmo conjunto de códigos para simular a água e a dinâmica de carbono e nitrogênio no solo, enquanto o crescimento e o desenvolvimento da cultura são simulados a partir dos módulos CROPGRO, CERES, CROPSIM e SBSTOR (HOOGENBOOM, et al., 2013).

De acordo com Jones et al., (2003), o DSSAT é um agrupamento de programas que operam juntos, estando os modelos de crescimento das culturas no centro desse conjunto.

## **2.5 Generalidades dos modelos Ceres**

Os modelos CERES do programa DSSAT simulam o crescimento diário de gramíneas incluindo o milho. Esses modelos baseiam-se em quatro tipos de

variáveis de entrada: solo, dados meteorológicos, manejo do cultivo e genótipos (BOULLON, et al., 1996). Os dados diários do tempo requeridos são temperatura máxima e mínima, radiação solar e precipitação. O crescimento é simulado por esses modelos considerando-se os seguintes processos:

- Desenvolvimento fenológico, que é especialmente afetado pelo genótipo, temperatura e fotoperíodo.
- Crescimento de folhas, colmos e raízes.
- Acúmulo e partição de fotoassimilados.
- Balanço da água no solo, que simula evaporação, transpiração, evapotranspiração, escoamento superficial, percolação e infiltração.
- Transformações do nitrogênio no solo associadas com a mineralização, imobilização, consumo de N pelo cultivo e perdas do N associado com o escoamento superficial e a percolação (JONES et al., 1996).

## **2.6 O modelo CERES-Maize**

Em comparação a modelos anteriores, o modelo CERES-Maize (JONES e KINIRY, 1986), é um dos mais detalhados para predizer estádios fenológicos e número de folhas. São considerados a sensibilidade ao fotoperíodo e os efeitos da alta temperatura no número final de folhas. Além disso, três componentes do desenvolvimento vegetativo, iniciação de folhas, aparecimento de primórdios foliares e iniciação da floração masculina podem ser testados independentemente (KINIRY, 1991).

Os pontos fortes do modelo constam de rotinas para a simulação do balanço de água e nitrogênio no solo, e suas bases fisiológicas para as taxas de desenvolvimento e partição de assimilados. A maior inovação deste modelo é o conceito de coeficiente genético, o qual significa que uma característica comum a todas as variedades de milho pode variar quantitativamente, explicando as diferentes adaptações (SALVADOR, 1993). Esses coeficientes são os seguintes:

-P1: representa a duração do período vegetativo, soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil, (temperatura base 8°C).

-P2: representa a sensibilidade ao fotoperíodo, dias de atraso na iniciação da floração masculina para cada hora de incremento do fotoperíodo acima de 12,5 horas.

-P5: duração da etapa reprodutiva, soma térmica desde a emergência do estígma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base 8°C).

-G2: número máximo de grãos por planta.

-G3: taxa de enchimento do grão ( $\text{mg dia}^{-1}$ ) sob condições ótimas de crescimento.

-PHY: Intervalo correspondente ao filocron em tempo térmico (graus-dia) entre a aparição de folhas subseqüentes.

O uso de características específicas para cada genótipo geralmente melhora a performance do modelo permitindo analisar a adaptação de uma variedade a diversos ambientes (JAME e CURTFORTH, 1996). Por outro lado, a ocorrência das diferentes fases fenológicas descritas no modelo representam intervalos de crescimento da planta delimitados por diferentes eventos fisiológicos.

As principais condições de contorno do modelo referentes à fenologia do milho são descritas a seguir, de acordo com Kiniry (1991):

- A temperatura base, isto é, a temperatura sob a qual o crescimento é limitado, é de 8°C para todas as fases, exceto para a fase de germinação à emergência que é de 10°C.

- Quando a disponibilidade de água no solo não é limitante, a duração da fase semeadura-emergência requer um dia até a germinação e logo após uma soma térmica de 45°C dia (base 10) para a emergência da planta com uma profundidade de semeadura de 5 cm.

- A velocidade do desenvolvimento de várias fases incrementa-se linearmente desde a temperatura base até 34°C, depois decresce linearmente até zero quando a temperatura aumenta de 34 a 44°C. De forma semelhante, assume-se que a taxa de iniciação de folhas e aparecimento de ápices foliares muda linearmente entre as duas faixas de temperatura.

- Durante a fase juvenil, tanto a taxa de iniciação de primórdios como a duração dessa fase é dependente da temperatura.

- Uma vez que a soma térmica do coeficiente genético P1 tenha sido alcançada, o desenvolvimento do ápice é independente da temperatura e começa a etapa sensível ao fotoperíodo. Para fotoperíodos maiores que 12,5 horas, o retardamento produzido na data de floração masculina é calculado com o coeficiente genético P2 (sensibilidade ao fotoperíodo) e o valor de fotoperíodo.

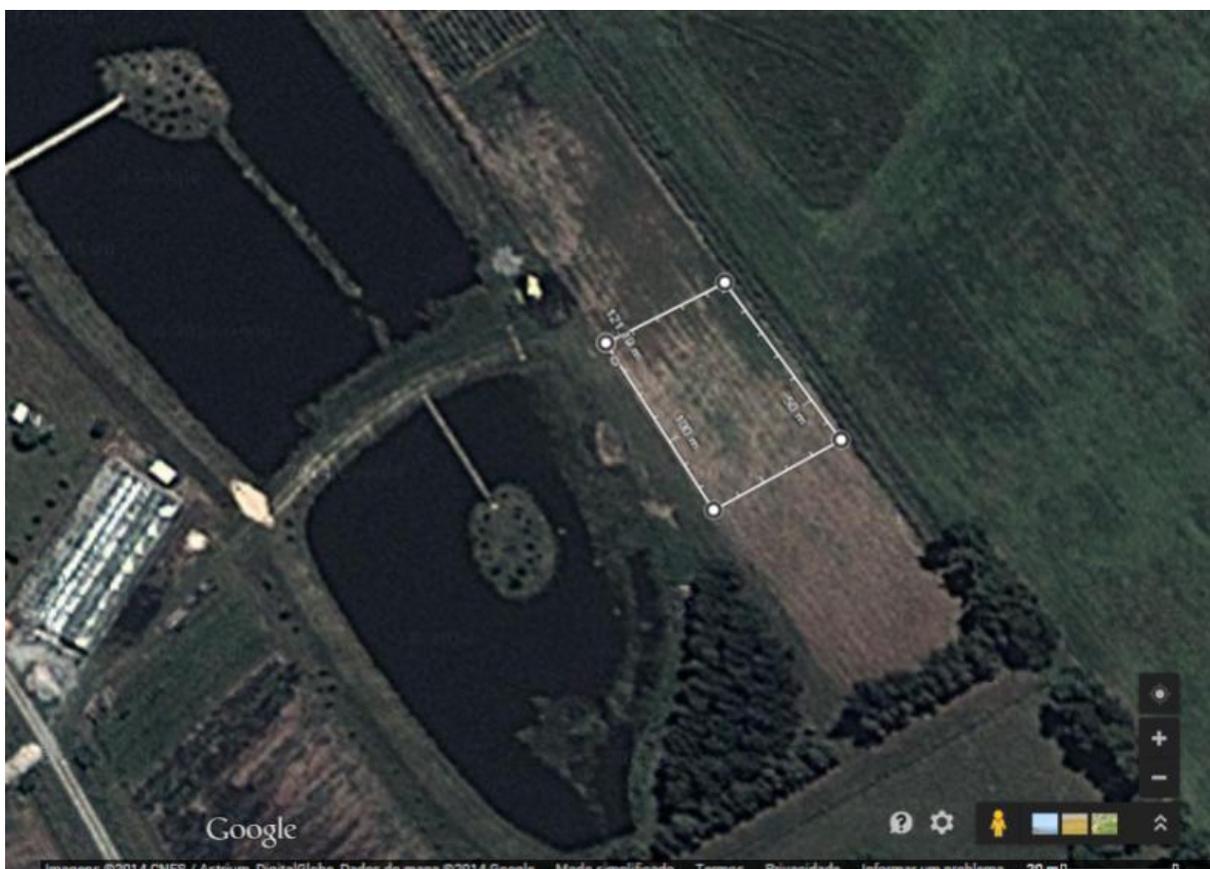
- A data de floração masculina é calculada pela soma térmica e pelo efeito do fotoperíodo.

- Três fases entre a emergência da espiga e o ponto de maturidade fisiológica são simuladas: a) fase inicial denominada "lag" (170°C dia); b) fase de crescimento linear que se finaliza quando 95% dos graus-dia necessários tenham sido acumulados; c) fase final que requer os 5% restantes dos graus-dia. De acordo com dados experimentais de campo, a soma térmica de P3 varia de 665 até 940°C dia (base 8°C).

### 3 METODOLOGIA GERAL

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

A pesquisa foi conduzida em duas áreas: uma em uma propriedade particular no município de Pelotas, RS, sendo essa vizinha a Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS),  $31^{\circ} 39' 47.4''$  S,  $52^{\circ} 27' 22.9''$  W, altitude 52 m (Figura 1) e outra em uma propriedade rural localizada no município de Canguçu, RS,  $31^{\circ} 24' 27,8''$  Sul,  $52^{\circ} 35' 22,8''$  Oeste, altitude 314 m (Figura 2).



**Figura 1** – Localização espacial do ensaio de parametrização do modelo em Pelotas, RS.

Fonte: Google Earth (2014). Adaptado pelo autor.



**Figura 2** – Localização espacial do ensaio de avaliação da capacidade preditiva do modelo, em Canguçu, RS.

Fonte: Google Earth (2014). Adaptado pelo autor.

### 3.2. Escolha de Genótipos

Os híbridos que foram utilizados nos experimentos, foram selecionados junto aos comerciantes locais. Foram escolhidos os mais comercializados pelos produtores familiares da região sul do RS: AG 5011 e AG 122.

O híbrido triplo AG 5011, tem ciclo precoce, requer nível de tecnologia considerado alto, sendo utilizado tanto para grão, quanto para silagem de planta inteira (CRUZ et al., 2011); o híbrido duplo AG 122 tem ciclo precoce, requer nível médio de tecnologia e é utilizado para grão e para silagem de planta inteira (CRUZ et al., 2011)

Além destes, a variedade AL 30 e o milho crioulo-Amarelão, foram também incluídos neste trabalho por serem também largamente utilizadas por agricultores familiares regionais. A variedade AL 30, desenvolvida pela Coordenadoria de

Assistência Técnica Integral, do estado de São Paulo (CATI, 2014), tem ciclo semiprecoce, requer nível de tecnologia médio, sendo utilizada para grão e silagem de planta inteira (CRUZ et al., 2011); a variedade crioula, Amarelão, requer baixa tecnologia, tem grãos de cor amarelada, excelente empalhamento, com aproximadamente dois metros de altura, resistente à doenças e bom potencial de produção de grãos e silagem.

### 3.3. Ensaio para parametrização do modelo CSM-CERES-Maize

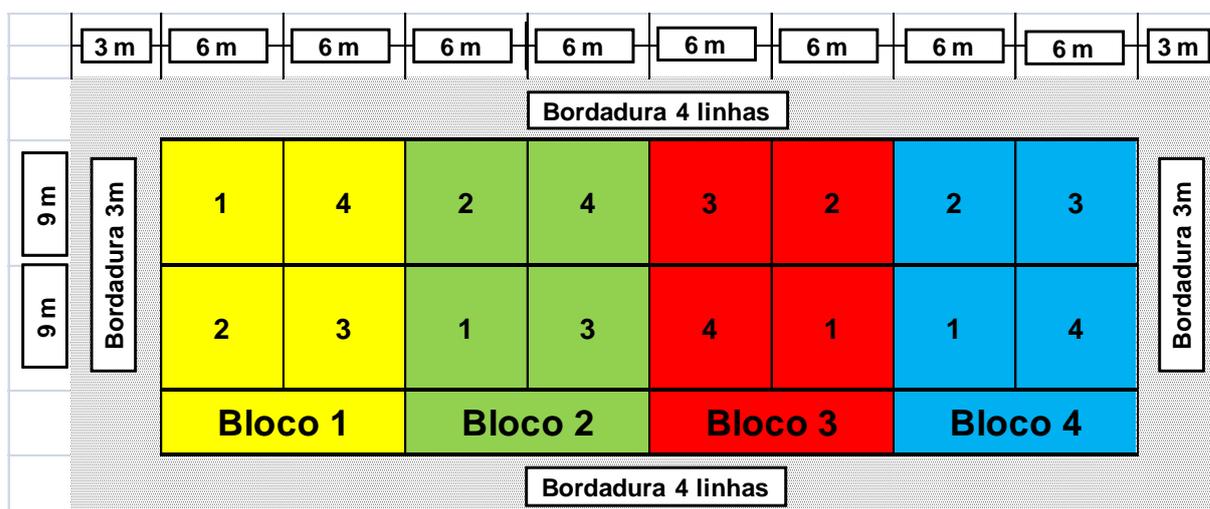
O ensaio para parametrização dos coeficientes genéticos dos genótipos foi instalado no mês de novembro de 2012, em uma propriedade particular em Pelotas, RS (Figuras 1 e 3).



**Figura 3** – Área onde foi instalado o ensaio para parametrização do modelo, em Pelotas, RS.

Neste ensaio, a cultura recebeu todos os tratamentos culturais necessários para que os genótipos expressassem seu máximo potencial produtivo, sob as condições meteorológicas reinantes. Utilizou-se uma dose elevada de fertilização mineral, de

modo a não permitir a ocorrência de estresses nutricional, além de todos os outros tratos culturais, incluindo irrigação, controle de pragas e doenças, de forma a suprir as necessidades da cultura do milho. Os tratamentos (genótipos), nesta área, foram arranjados em um esquema como segue na Figura 4.



**Figura 4** - Croqui da área do ensaio para parametrização do modelo realizado em Pelotas, RS. Genótipos: 1 - Amarelão (Crioulo); 2 - Al 30 (Variedade); 3 - AG 5011 (Híbrido Triplo); 4 - AG 122 (Híbrido Duplo).

O crescimento e o desenvolvimento da cultura nos ensaios, tanto para parametrização como para avaliação do modelo, foram monitorados. Cinco plantas representativas do ensaio foram coletadas, ao longo do ciclo, para determinação do índice de área foliar (IAF) e fitomassa seca da parte aérea bem como dos componentes da planta, incluindo grãos; a área de influência das cinco plantas sobre o solo foi medida para conversão dos dados de massa seca e área foliar por unidade de área.

Outros parâmetros fenológicos da cultura como data da emergência, população de plantas, embonecamento, pendoamento, número de folhas e maturidade fisiológica foram também determinados.

Na colheita, realizada após a maturidade fisiológica, foram avaliados a fitomassa seca da parte aérea e dos componentes da planta, incluindo o rendimento de grãos, o número de plantas  $m^{-2}$ , espigas  $m^{-2}$ , espigas planta $^{-1}$ , grãos planta $^{-1}$ , peso unitário de grão, umidade do grão e índice de colheita.

Todos os dados coletados foram tabulados e organizados em arquivos de entrada do modo experimental do modelo, para permitir à parametrização dos

coeficientes, conforme descrito em TSUJI et al. (1998). Neste procedimento, ajustam-se os coeficientes das equações relacionadas ao crescimento e desenvolvimento dos genótipos, de forma que os valores simulados se aproximem dos valores observados. Para tal, empregam-se as estatísticas RMSE e d-Stat para se aferir a qualidade das simulações.

### **3.4 Avaliação da capacidade preditiva do modelo CSM-CERES-Maize**

A capacidade preditiva foi avaliada em uma lavoura de milho na propriedade familiar no Município de Canguçu, RS (Figura 2 e 5), o qual adota o sistema de semeadura convencional, utilizando a variedade AL 30 e o milho crioulo Amarelão. Foram coletados dados de manejo e da fenologia da cultura na lavoura 2012/2013, incluindo adubações e tratos culturais, que foram fornecidos pelo agricultor que costuma fazer registros de seu agroecossistema.

Na colheita final, foram avaliados, com quatro repetições para cada genótipo, a fitomassa seca da parte aérea e dos componentes da planta, incluindo o rendimento de grãos, o número de plantas  $m^{-2}$ , espigas  $m^{-2}$ , espigas planta $^{-1}$ , grãos planta $^{-1}$ , peso unitário de grão e índice de colheita.

Os dados obtidos nesta propriedade particular, foram utilizados para avaliar a capacidade do modelo para simular a produtividade de milho em um agroecossistema com condições de manejo adotadas normalmente pelo agricultor em comparação com aquelas do experimento para parametrização. As mesmas estatísticas RMSE e d-Stat anteriormente mencionadas, para avaliar a qualidade das simulações, foram utilizadas.



**Figura 5** – Área onde foram coletados dados para avaliação da capacidade preditiva do modelo, em Canguçu, RS.

### 3.5 Dados meteorológicos

Dados meteorológicos diários (temperatura máxima e mínima, insolação e precipitação), foram obtidos na estação climatológica convencional localizada na área experimental da Embrapa Clima Temperado, para o período do ensaio de parametrização em Pelotas, RS, e para o período de cultivo do milho na propriedade rural em Canguçu, RS, os quais foram tabulados para utilização no modo experimental do modelo de simulação.

Adicionalmente, a série histórica de dados diários das condições meteorológicas foi avaliada e consistida para posterior utilização com o modo sazonal do modelo, no período de 1992 a 2013.

### **3.6 Dados de solo**

Arquivos com dados sobre os solos, de cada região, em estudo são requeridos pelo modelo. Para isso, foram coletadas amostras para determinação de atributos físico-hídricos e de fertilidade do perfil do solo, na área experimental da Embrapa Clima Temperado em Pelotas, RS e na propriedade familiar em Canguçu, RS. Assim, foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas, no perfil do solo de cada região e analisadas no laboratório de Física e Química do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas. As amostras deformadas foram compostas por três subamostras de solo, nos dois ensaios, com três repetições cada, coletadas com auxílio de um trado holandês. Estas foram coletadas para determinação das condições iniciais de umidade, e de concentrações de nitrato, amônio, nitrogênio total e carbono orgânico no perfil do solo. As amostras indeformadas, foram coletadas com auxílio de anéis cilíndricos para a determinação de Capacidade de Campo (CC), Ponto de Murcha Permanente (PMP), utilizando a câmara de pressão de Richard, bem como a Saturação e Condutividade Hidráulica, seguindo a metodologia descrita por Klute (1996). Os valores do conteúdo de água na CC e no PMP foram considerados como sendo os valores ajustados de conteúdo de água volumétrico em equilíbrio aos valores de tensão de 10 e 1500 kPa, respectivamente. Para todas estas análises foram coletadas três repetições, em cada profundidade dos perfis estudados, detalhadas nos capítulos a seguir.

### **3.7 Simulações de cenários de manejo da cultura do milho**

O modo sazonal do modelo, juntamente com os dados históricos das condições meteorológicas, de solos, e de manejo, foram empregados para avaliar o efeito interanual das condições meteorológicas na produtividade de grãos e na produção de silagem em regime de sequeiro. Foram simulados cenários com diferentes épocas de semeaduras, apropriadas para a região, e diferentes doses de nitrogênio mineral convencional entre os quatro genótipos. Assim, com esta ferramenta foi possível analisar a viabilidade técnica e as incertezas ligadas as condições meteorológicas.

# **CAPÍTULO 1 - PARAMETRIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO CSM-CERES-Maize PARA GENÓTIPOS UTILIZADOS POR PRODUTORES FAMILIARES NO TERRITÓRIO ZONA SUL DO RIO GRANDE DO SUL**

## **Introdução**

Segundo o censo agropecuário de 2006, a agricultura familiar no Rio Grande do Sul conta com 226.311 estabelecimentos produtores de milho, com uma área colhida de 908.615 ha, produzindo 3.480.534.741 kg, perfazendo, assim, um valor total da produção de R\$ 902.496.773 (IBGE, 2006).

A produtividade média anual de milho entre os anos de 2003 à 2012 para o estado do Rio Grande do Sul e para os municípios de Pelotas e Canguçu, foi de 3.607, 2.952 e 1.660 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Todas abaixo da média da produtividade nacional no mesmo período, a qual foi de 3.881 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2014).

A resposta da cultura do milho, em termos de produção de fitomassa e produtividade de grãos, depende de um grande número de fatores que interagem entre si, sendo que alguns destes fatores são dinâmicos, como, por exemplo, as condições meteorológicas. A modelagem pode ser uma ferramenta muito útil neste caso, pois além de possibilitar a simulação de cenários diversos de manejo dos fatores de produção, permite o entendimento da dinâmica dos processos envolvidos no sistema e também o isolamento do efeito de alguns fatores na produtividade das culturas.

No que diz respeito à pesquisa científica, voltada para a agricultura familiar, há amplas possibilidades de aplicação de modelos de simulação da cultura do milho, principalmente nas áreas de avaliação de interações genótipo x ambiente, caracterização de ambientes para instalação de ensaios, caracterização de seca, manejo de nitrogênio e de água, épocas de semeadura, avaliação de efeitos de mudanças meteorológicas no desempenho das culturas, entre outros (ANDRADE et al., 2009a). Portanto, modelos são ferramentas úteis para compreender os efeitos nas culturas ocorrentes das interações complexas com o solo, com as condições meteorológicas e com outras decisões relacionadas ao próprio manejo do agroecossistema.

O modelo de crescimento de culturas, DSSAT (*DecisionSupport System for AgrotechnologyTransfer*) (JONES et al., 2003) apresentam potencial de uso para

responder questões em pesquisa, manejo de culturas e planejamento, auxiliando no entendimento sobre as interações genéticas, fisiológicas e do ambiente, como também nas decisões de práticas culturais antes e durante o período da cultura no campo, como aplicações de fertilizantes e irrigação (BOOTE et al., 1996).

Vários trabalhos têm demonstrado a eficiência do modelo DSSAT no auxílio à tomada de decisões de manejo. Em um estudo realizado na Nigéria, diferentes densidades de plantio de milho de sequeiro foram simuladas com o modelo CERES-Maize (JAGTAP et al., 1998). As melhores datas de semeadura de milho de sequeiro e irrigado, em um sistema de sucessão com grão-de-bico na Índia, foram definidas empregando resultados de simulação (SINGH e SRINIVAS, 2007). Castelán-Ortega et al. (2003) utilizaram o modelo CERES-Maize para simular a produção de milho sob três diferentes sistemas de manejo no México. O modelo também foi associado a outro modelo de simulação do sistema de produção leiteira. Neste caso, foram identificados sistemas de produção que maximizam a receita líquida dos agricultores. O modelo CERES-Maize foi utilizado por Soler (2004) para previsão de safra do milho safrinha no estado de São Paulo e concluiu que o modelo mostrou ser excelente ferramenta para a previsão do rendimento do milho safrinha, utilizando-se dados meteorológicos combinados aos dados meteorológicos do ano em questão. Quiring e Legates (2008) observaram a eficiência do modelo de simulação de culturas CERES-Maize, para prever o rendimento do milho de sequeiro, até quatro meses antes da colheita, em Delaware, EUA. Já Santana et al., (2010) geraram coeficientes do modelo CSM-Ceres-Maize para seis genótipos de milho e avaliaram a capacidade preditiva do modelo, para Sete Lagoas, MG. Os dados coletados para a maioria dos genótipos apresentaram-se consistentes e podem ser empregados para parametrizar coeficientes para os genótipos. Outros pesquisadores avaliaram a eficiência do modelo Ceres-Maize na simulação de datas de florescimento e maturidade fisiológica, componentes da produção e produtividade de grãos de híbridos de milho em três épocas de cultivo na região de Lavras-MG (PEREIRA et al., 2010).

Neste trabalho, o modelo CSM-CERES-Maize foi utilizado com o objetivo de parametrizar diferentes genótipos utilizados por produtores familiares território zona sul do Rio Grande do Sul, avaliando o desempenho do modelo em simular o crescimento, desenvolvimento e produtividade do milho.

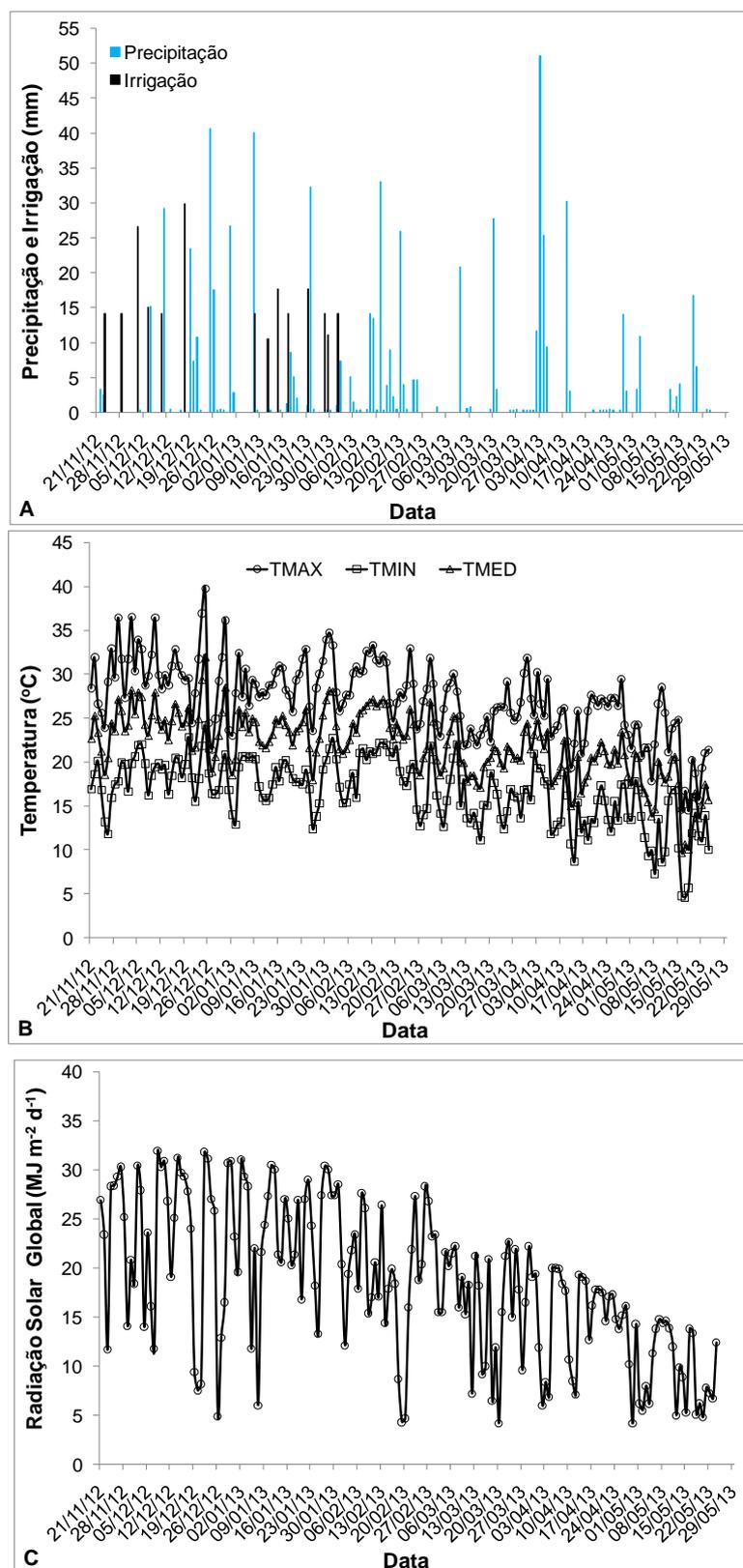
## Material e Métodos

O ensaio de campo foi conduzido em uma propriedade particular, (31° 42' Sul, 52° 24' Oeste, altitude 57 m), vizinha a Embrapa Clima Temperado, em Pelotas, RS. Paralelamente, dados foram coletados em uma lavoura na propriedade de um produtor familiar no município de Canguçu, RS, Brasil (31° 23' 57,6' Sul, 52° 36' 23,3 Oeste, altitude 314 m). Os resultados dos dois ensaios foram utilizados para a parametrização e avaliação do modelo CSM-CERES-Maize do sistema DSSAT versão 4.5.1.023, respectivamente (HOOGENBOOM et al., 2013).

O clima dos locais é classificado, segundo Köppen, como subtropical úmido (Cfa). Esta classificação indica que a temperatura média do mês mais frio situa-se entre 18 e -3°C, que no mês mais seco a precipitação é maior do que 60 mm (Cf) e que, a temperatura média do ar do mês mais quente é superior a 22°C (Cfa).

### *Dados Meteorológicos*

Dados meteorológicos diários, incluindo precipitação, temperatura mínima e máxima do ar e horas de insolação, convertidos em radiação solar (Figuras 1A, B e C), foram obtidos na Estação Agrometeorológica da Embrapa Clima Temperado, RS (31° 42' Sul, 52° 24' Oeste, altitude 57 m), localizada a aproximadamente 50 km da propriedade familiar utilizada como estudo de caso. A taxa de radiação solar global diária foi estimada a partir de dados de horas de insolação usando a equação de Angström-Prescott (ANGSTRÖM, 1924; PRESCOTT, 1940).



**Figura 1**—Precipitação e irrigação (A), Temperatura máxima (TMAX), mínima (TMIN) e média (TMED) diária (B) e radiação solar (C) ao longo do ciclo da cultura dos genótipos, nos ensaios para parametrização e validação do modelo.

### *Caracterização dos Solos*

O solo estudado localizado no município de Pelotas é um Planossolo, que compreende solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial e/ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta (EMBRAPA, 2013). Em Canguçu o solo em estudo é um Argissolo, que compreende solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (EMBRAPA, 2013).

Foram avaliados o ponto de murcha permanente, capacidade de campo, e a saturação, determinada através da mesa de tensão. A densidade do solo foi feita pelo método do anel volumétrico. A matéria orgânica foi determinada pela metodologia descrita por Walkley e Black (1934), sendo posteriormente convertida em carbono orgânico. A argila e silte foram determinadas pelo método do densímetro de Bouyoucos (BOUYOUCOS, 1927). O nitrogênio total foi avaliado pelo método Kjeldahl (MORRIES, 1983). O pH em água pelo método descrito por Mehlich (1948) (Tabelas 1 e 2). Todas as avaliações foram feitas em diferentes profundidades, de acordo com as condições do perfil do solo em cada ensaio, com 3 repetições em cada profundidade.

**Tabela 1** – Características do perfil do solo no ensaio de parametrização, em Pelotas, RS.

Profundidade (m)	Ponto de murcha (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Capacidade de campo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Saturação (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Fator de crescimento de raiz	Densidade (kg m <sup>-3</sup> )	Carbono Orgânico (%)	Argila (%)	Silte (%)	Nitrogênio Total (%)	pH em água
0,05	0,198	0,229	0,366	1,0	1,72	0,91	14,3	4,0	0,08	5,7
0,10	0,180	0,228	0,425	1,0	1,71	0,85	16,0	4,0	0,06	5,0
0,30	0,180	0,221	0,329	1,0	1,77	0,63	14,3	4,0	0,06	4,8
0,50	0,259	0,309	0,388	0,4	1,64	0,47	21,0	3,3	0,04	4,7
0,70	0,352	0,368	0,410	0,3	1,66	0,40	31,7	3,0	0,04	4,8
0,90	0,314	0,328	0,373	0,2	1,71	0,33	33,3	3,0	0,03	4,9

**Tabela 2** – Características do perfil do solo no ensaio de validação, em Canguçu, RS.

Profundidade (m)	Ponto de murcha (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Capacidade de campo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Saturação (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Fator de crescimento de raiz	Densidade (kg m <sup>-3</sup> )	Carbono Orgânico (%)	Argila (%)	Silte (%)	Nitrogênio Total (%)	pH em água
0,05	0,260	0,300	0,380	1,0	1,50	1,2	16	16,3	0,13	5,5
0,10	0,216	0,242	0,318	1,0	1,68	1,3	22	15,1	0,11	5,2
0,30	0,185	0,213	0,373	1,0	1,60	1,0	22	18,2	0,10	5,0
0,50	0,150	0,196	0,326	0,4	1,72	1,0	25	13,9	0,09	4,8
0,70	0,335	0,344	0,404	0,3	1,60	1,4	25	22,2	0,13	4,8

### *Genótipos*

Foram selecionadas, quatro genótipos, sendo esses muito utilizados entre os produtores familiares da região. O híbrido triplo AG 5011, tem ciclo precoce, requer nível de tecnologia considerado alto, sendo utilizado tanto para grão, quanto para silagem de planta inteira (CRUZ et al., 2011); o híbrido duplo AG 122 tem ciclo precoce, requer nível médio de tecnologia e é utilizado para grão e para silagem de planta inteira (CRUZ et al., 2011); a variedade AL 30, desenvolvida pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, do estado de São Paulo (CATI, 2014), tem ciclo semiprecoce, requer nível de tecnologia médio, sendo utilizada para grão e silagem de planta inteira (CRUZ et al., 2011); a variedade crioula, Amarelão, requer baixa tecnologia, tem grãos de cor amarelada, excelente empalhamento, com aproximadamente dois metros de altura, resistente à doenças e bom potencial de produção de grãos e silagem, é utilizada por produtores familiares do território zona sul do Rio Grande do Sul. Os dois últimos genótipos são utilizados há vários anos pelo produtor rural em Canguçu, RS.

### *Detalhes do Ensaio de Parametrização do Modelo*

Um primeiro ensaio, para obtenção dos dados necessários ao ajuste dos coeficientes genéticos para os diferentes genótipos, foi instalado em uma propriedade rural, vizinha a estação experimental da Embrapa Clima Temperado, em Pelotas, RS, Brasil, (latitude 31° 42' S, longitude 52° 24' O e altitude 57 m). As parcelas experimentais de cada genótipo foram organizadas em um delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições.

O referido ensaio foi conduzido em condições ótimas para o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, não tendo sido permitido a ocorrência de estresses hídrico e nutricional. Procedeu-se também o controle de plantas concorrentes, de pragas e de doenças. A semeadura manual foi realizada no dia 21 de novembro de 2012 e a colheita no dia 17 de abril de 2013. O espaçamento entre linhas foi de 0,8 m e a população de plantas, na colheita, foi de 39, 40, 51 e 52 mil plantas ha<sup>-1</sup>, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, respectivamente. A adubação consistiu de 370 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 10-20-20 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), na semeadura, e duas doses de 200 kg ha<sup>-1</sup> de ureia, aplicadas aos 26 e 50 dias após a semeadura (DAS). A irrigação foi manejada com uma planilha eletrônica que, a partir da precipitação e da evapotranspiração da cultura, calcula o balanço de água no solo e indica o momento da irrigação e a lâmina de água a ser aplicada (ALBUQUERQUE e ANDRADE, 2001). A lâmina de irrigação aplicada durante o ciclo da cultura foi de 227 mm, e a precipitação no mesmo período foi de 594 mm (Figura 1 A).

### *Detalhes do Ensaio de Validação do Modelo*

Paralelamente à coleta de dados para parametrização do modelo, um segundo ensaio foi conduzido com o objetivo de se avaliar a capacidade preditiva do modelo. Assim, foram coletados dados em uma lavoura de milho, conduzida em regime de sequeiro, em uma propriedade familiar no município de Canguçu, RS (latitude 31° 24' S, longitude 52° 35' O e altitude 314 m), localizado a aproximadamente 50 km da área onde se conduziu o ensaio para parametrização do modelo em Pelotas, RS. O produtor familiar conduziu sua lavoura normalmente, a

qual semeia os genótipos Amarelão e AL 30 há alguns anos. As parcelas para coleta de dados foram distribuídas ao acaso na lavoura, com quatro repetições.

A semeadura, realizada com semeadora tracionada por trator, ocorreu em 17 de dezembro de 2012. A colheita realizada após a maturação fisiológica, foi feita no dia 24 de maio de 2013. Empregou-se um espaçamento entre linhas de 0,9 m e uma população de plantas de 42 e 55 mil plantas ha<sup>-1</sup>, para os genótipos Amarelão e AL 30, respectivamente. A adubação consistiu de 150 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 5-20-20 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), mais 45 kg ha<sup>-1</sup> de ureia aplicadas aos 10 dias após semeadura (DAS) e repetido aos 18 DAS.

#### *Detalhes da Coleta de Dados*

As coletas de dados foram semelhantes nos ensaios de parametrização e de avaliação do modelo. Dez plantas foram marcadas, em cada parcela, para monitoramento da data da antese que foi considerada quando 50% das plantas apresentavam bonecas com 2 cm de cabelo visíveis. Nas mesmas 10 plantas, contou-se o número de folhas com a ponta aparecendo e o número de folhas com a lígula formada.

Quando a palha da espiga ficou amarelada, iniciou-se a avaliação da maturidade fisiológica, que consistiu na observação do aparecimento da camada preta na base dos grãos; determinou-se também a umidade dos grãos com o medidor de umidade eletrônico. A data de maturidade fisiológica da cultura foi considerada quando 50% das sementes apresentaram a camada preta bem definida, estando o grão com teor de umidade entre 30 a 35%.

Em quatro datas no ensaio de parametrização e em três datas no ensaio de avaliação do modelo, ao longo do ciclo da cultura, foram coletadas amostras para avaliação da fitomassa seca aérea. Cinco plantas representativas de cada parcela foram cortadas rente ao solo, e levadas à bancada para separação de folhas + bainha, caule + pendão, espigas, grãos, sabugo e palha. As amostras foram levadas para secar em estufa à 65 °C até peso constante. Os dados foram convertidos em peso de matéria seca por unidade de área de solo. No ensaio de parametrização, a área das folhas de milho foi medida em um medidor de bancada modelo Li-Cor 3000. Determinou-se, posteriormente, o índice de área foliar (IAF).

Na colheita, que ocorreu em 17 de abril de 2013 para o ensaio de parametrização e em 24 de maio para o de avaliação, foram colhidas três linhas de 4 m em cada parcela, totalizando uma área de 156 m<sup>2</sup>, no ensaio de parametrização, e de 81 m<sup>2</sup> no ensaio para avaliação do modelo. Foram avaliados o rendimento de grãos, fitomassa da parte aérea, expressos em matéria seca, grãos m<sup>-2</sup> e peso unitário de grãos, todos determinados para cada uma das quatro repetições nos dois ensaios. Os componentes das plantas foram processados e levados ao laboratório para determinação da massa seca em estufa a 65°C, sendo convertidos, posteriormente, em peso seco por unidade de área. Todos os dados foram apresentados e discutidos com a umidade do grão a 0%, ou seja, em termos de matéria seca.

Amostras de solo deformado foram colhidas com trado holandês, antes da semeadura, para determinação do teor inicial de água no solo e da concentração inicial de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) e de amônia (N-NH<sub>4</sub>). Posteriormente, foram abertas trincheiras nas áreas dos dois ensaios para a coleta de amostras de solo indeformado, para determinação de outros atributos necessários à criação do arquivo de perfil de solo do modelo. As profundidades de amostragem foram 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,30; 0,30-0,50; 0,50-0,70; 0,70-0,90 m, no ensaio de parametrização (Tabela 3), e 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,30; 0,30-0,50; 0,50-0,70 m, no ensaio de avaliação do modelo (Tabela 4), sendo que em cada profundidade foram colhidas três repetições.

**Tabela 3** - Teor de água no solo, concentração de Nitrato (N-NO<sub>3</sub>) e Amônio (N-NH<sub>4</sub>), no ensaio de parametrização, em Pelotas, RS

Profundidade (m)	Teor de Água no Solo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
0,05	0,264	6,98	14,19
0,10	0,250	7,33	12,32
0,30	0,248	8,83	5,93
0,50	0,239	4,65	3,49
0,70	0,304	6,04	2,27
0,90	0,304	6,74	3,84

**Tabela 4** - Teor de água no solo, concentração de Nitrato (N-NO<sub>3</sub>) e Amônio (N-NH<sub>4</sub>), no ensaio de avaliação, em Canguçu, RS.

Profundidade (m)	Teor de Água no Solo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
0,05	0,268	22,57	8,84
0,10	0,246	16,17	3,60
0,30	0,285	21,98	11,16
0,50	0,293	33,26	19,54
0,70	0,265	29,65	16,51

As amostras de solo, foram levadas aos Laboratórios de análises físicas e químicas de Solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), onde se determinou, ponto de murcha permanente, capacidade de campo, saturação, densidade, carbono orgânico, argila, silt, nitrogênio total, pH em água (Tabelas 1 e 2).

#### *Parametrização do Modelo*

O ajuste dos coeficientes genéticos do modelo foi realizado separadamente para cada uma dos genótipos, seguindo um procedimento de tentativa e erro, descrito em Tsuji et al. (1998). Inicialmente, ajustou-se o coeficiente P1 (soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil; temperatura base 8°C) até que a data da antese simulada coincidissem com a data da antese observada; em seguida, ajustou-se o coeficiente PHINT (intervalo em soma térmica, temperatura base de 8°C, necessária para a aparição de folhas subsequentes). Na sequência, o coeficiente P5 (soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão; temperatura base 8°C), foi ajustado para fazer coincidir a data da maturidade fisiológica simulada e observada. Finalmente, os coeficientes G2 (número máximo possível de grãos por planta) e G3 (taxa de enchimento do grão, sob condições ótimas de crescimento) foram ajustados até que as produtividades de grãos simuladas e observadas coincidissem.

#### *Avaliação da Capacidade Preditiva do Modelo*

A qualidade das simulações foi avaliada empregando-se as estatísticas índice “d” de concordância (WILLMOTT et al., 1985) e o quadrado médio do erro

(RMSE) (LOAGUEE GREEN, 1991) convertido para porcentagem, conforme descritos nas equações 1 e 2.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P'_i| + |O'_i|)^2} \right] \quad (1)$$

Onde N é o número de observações,  $P_i$  é o valor estimado,  $O_i$  é o valor observado,  $P'_i = P_i - M$  e  $O'_i = O_i - M$ , sendo M a média da variável observada.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} * \frac{100}{M} \quad (2)$$

Para o índice d, quanto mais próximo da unidade, melhor a concordância entre valores simulados e observados. O RMSE indica a diferença relativa, em %, entre os valores simulados e observados. A simulação é considerada excelente quando RMSE é menor do que 10%, boa entre 10 e 20%, aceitável entre 20 e 30% e pobre quando maior do que 30% (JAMIESON et al., 1991).

## Resultados e Discussão

### *Dados Meteorológicos*

A precipitação total durante o período de crescimento da cultura do milho foi de 594,3 mm, para o ensaio de parametrização do modelo, e de 610,7 mm, para o ensaio de avaliação (Figura 1A). Na região de Pelotas, RS, a precipitação é uniforme ao longo dos meses do ano, entretanto podem ocorrer veranicos, que consiste em dias consecutivos sem chuvas no meio do período chuvoso de uma determinada região (Hallal et al., 2014). A ocorrência desses veranicos pode coincidir com fases críticas para a cultura do milho, causando reduções na produtividade. Planejamentos adequados de práticas de manejo de irrigação são necessários, a fim de reduzir os riscos causados por veranicos. As temperaturas mínimas variaram de 15 a 31,9 °C, as temperaturas máximas variaram entre 19,3 e 39,7 °C e as temperaturas médias

variaram entre 15 a 31,9°C (Figura 1B). Kiniry (1991), considerou como limites extremos para a fenologia do milho, 8°C e 44°C, sendo que o crescimento máximo ocorre entre 26 e 34°C. A radiação solar máxima e mínima foram de 31,9 e 4,2 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 1C).

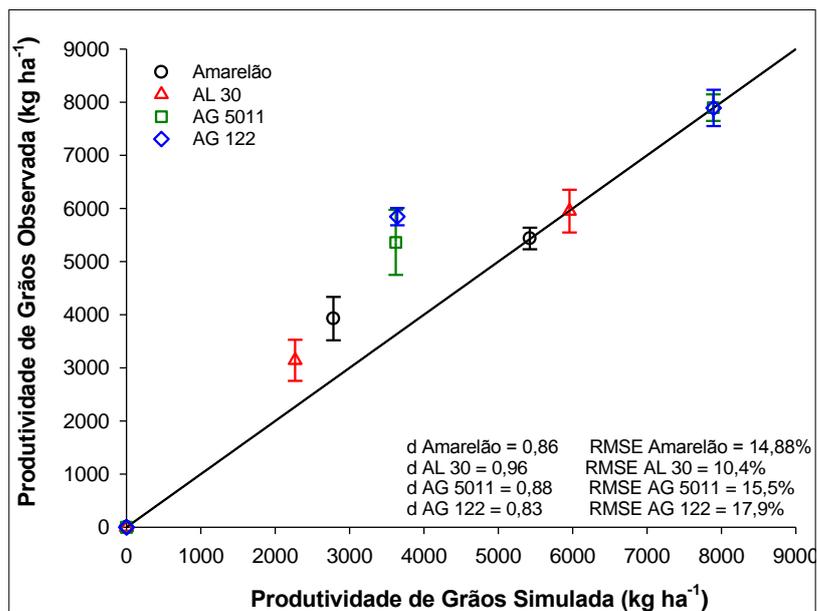
### *Parametrização do Modelo*

A produtividade média observada na colheita para o milho crioulo Amarelão foi de 5.435 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2). Valores semelhantes foram obtidos por Araújo e Nass (2002), para os municípios de Londrina e Ponta Grossa, PR, que registraram produtividades de 5.193 e 5.406 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A variedade AL 30 e o híbrido AG 5011 apresentaram produtividades médias observadas de 5.950 e 7.897 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figuras 2). Essas produtividades ficaram próximas aquelas reportadas por Parfitt (2002), que em experimento instalado no município de Bagé, RS, sob irrigação, relatou produtividades de 4.627 kg ha<sup>-1</sup> para a variedade AL 30, no ano agrícola de 2001/02, e de 7.635 kg ha<sup>-1</sup> para o híbrido AG 5011 no ano agrícola de 2000/01. Para o híbrido AG 122, a produtividade média observada na colheita final foi de 7.892 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2). Vogt et al. (2005), com o objetivo de avaliar genótipos de milho em relação ao rendimento de grão, obteve produtividade de 7.992 kg ha<sup>-1</sup>, em ensaio no município de Chapecó, SC.

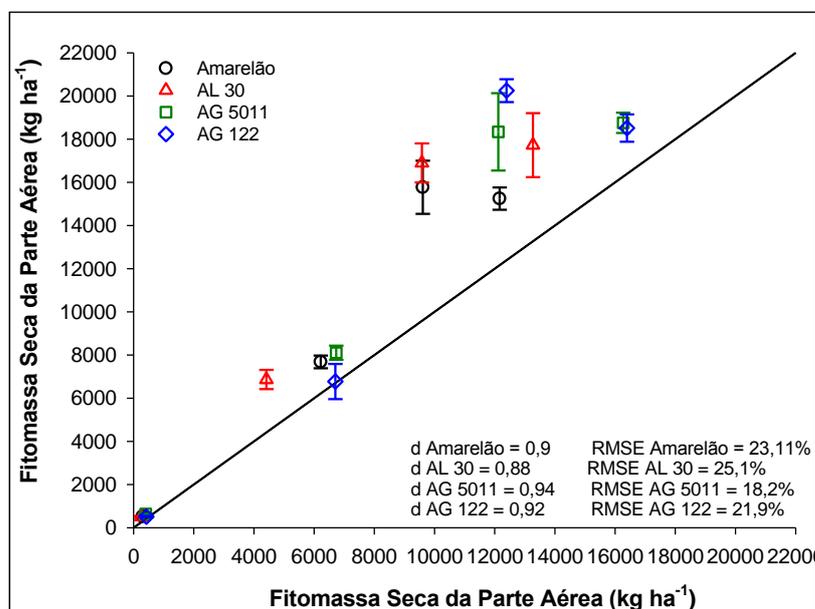
Valores de fitomassa seca da parte aérea, observados no momento da colheita foram de 15.247; 17.725; 18.759; 18.515 kg ha<sup>-1</sup>, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, respectivamente (Figura 3).

O número de folhas totalmente desenvolvidas observado, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, foi de 20,9; 22,9; 23,2 e 24,4, respectivamente (Figuras 4). O maior número de folhas totalmente desenvolvidas foi observado para o genótipo AG 122, e o menor para a variedade crioula Amarelão.

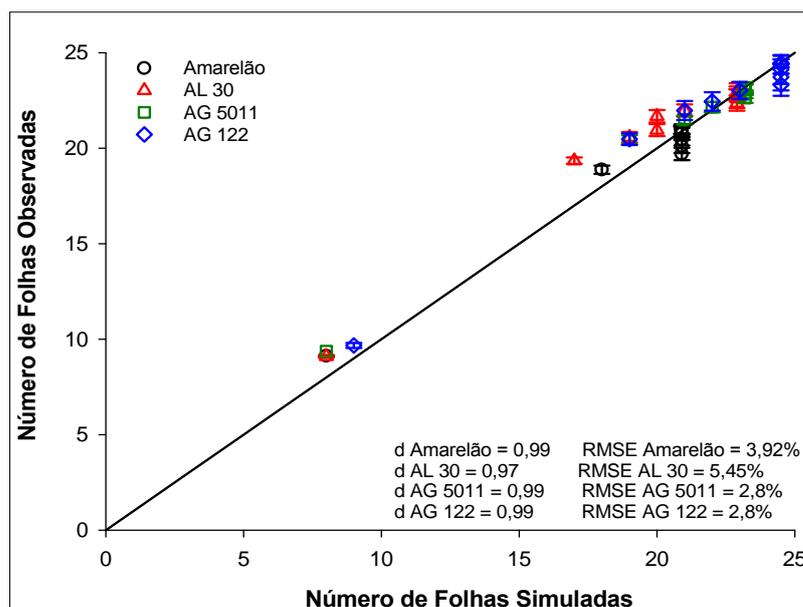
O índice de área foliar máximo observado foi de 1,94; 2,39; 3,05 e 2,59, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, respectivamente (Figuras 5). O menor valor foi observado para o genótipo Amarelão, com maior valor observado para o genótipo AG 5011.



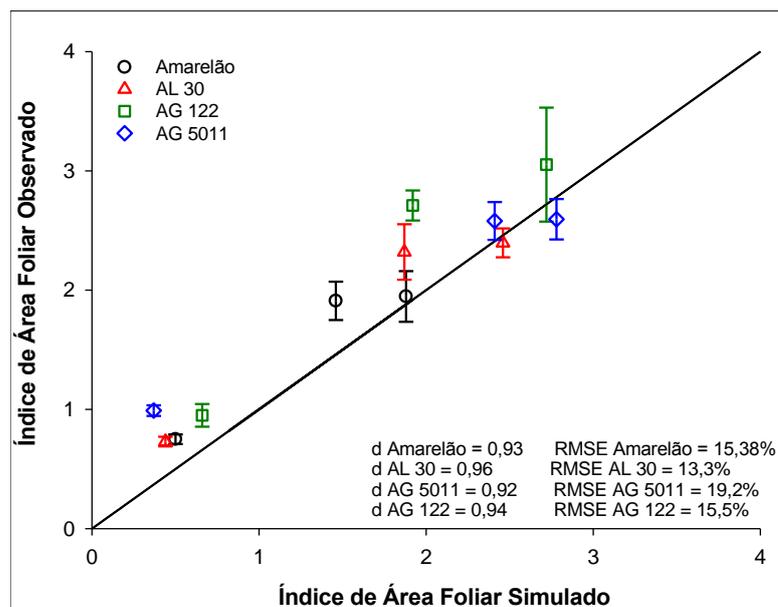
**Figura 2** – Produtividade de grãos simulada e observada para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, após a parametrização do modelo, no município de Pelotas, RS. As barras verticais indicam o erro padrão da média. d é o índice de concordância (WILLMOTT et al., 1985), e RMSE o quadrado médio do erro (LOAGUEE GREEN, 1991), convertido para porcentagem.



**Figura 3** – Fitomassa seca da parte aérea, simulada e observada para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, após a parametrização do modelo, no município de Pelotas, RS. As barras verticais indicam o erro padrão da média. *d* é o índice de concordância (WILLMOTT et al., 1985), e RMSE o quadrado médio do erro (LOAGUEE GREEN, 1991), convertido para porcentagem.



**Figura 4** – Número de folhas, simulado e observado para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, após a parametrização do modelo, no município de Pelotas, RS. As barras verticais indicam o erro padrão da média. *d* é o índice de concordância (WILLMOTT et al., 1985), e RMSE o quadrado médio do erro (LOAGUEE GREEN, 1991), convertido para porcentagem.



**Figura 5** – Índice de área foliar (IAF), simulado e observado para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, após a parametrização do modelo, no município de Pelotas, RS. As barras verticais indicam o erro padrão da média. d é o índice de concordância (WILLMOTT et al., 1985), e RMSE o quadrado médio do erro (LOAGUEE GREEN, 1991), convertido para porcentagem.

Os valores simulados de produtividade de grãos foram de 5.424; 5.957; 7.889 e 7.894 kg ha<sup>-1</sup>, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, respectivamente (Figuras 2). Os Valores de RMSE, expresso em porcentagem foram de 14,9; 10,4; 15,6 e 17,8%, para os referidos genótipos, respectivamente. Todos os valores ficaram entre 10 a 20%, o que indica que as simulações de produtividade de grãos, são consideradas de boa qualidade para todos os genótipos. Além disso, o índice de concordância, d, foi, 0,86; 0,96; 0,88; 0,83, respectivamente, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122 (Figuras 2), valores considerados adequados. A variedade AL 30 apresentou os menores valores de RMSE, e valores mais elevados do índice d. Soler (2004) ao calibrar e testar o desempenho do modelo CERES-Maize para simular o desenvolvimento e a produtividade do milho "safrinha" na região de Piracicaba/ SP, encontrou valores de RMSE e d da ordem de 5,7 e 0,84, respectivamente para o híbrido AG9010, sendo as simulações consideradas de boa qualidade, o que vem a corroborar com os dados encontrados neste estudo.

Observou-se que, mesmo depois da parametrização, do modelo CERES-Maize, este tende a subestimar a fitomassa seca da parte aérea na colheita, para

todas os genótipos. A fitomassa seca da parte aérea simulada foi 12.162; 13.271; 16.269; 16.393 kg ha<sup>-1</sup>, as observadas nos ensaios foram de 15.247; 17.725; 18.759; 18.515 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122 (Figuras 3). Os valores das estatísticas RMSE e d foram de 18,23% e 0,94, respectivamente para o híbrido AG 5011, indicando assim simulações de boa qualidade com elevada concordância entre os dados observados e simulados. Os genótipos Amarelão, AL 30 e AG 122 apresentaram RMSE entre 20 e 30%, com valores de RMSE igual a 23,11; 25,15 e 21,9%, respectivamente, sendo as simulações consideradas aceitáveis. Entretanto, foram observados valores de d elevados de 0,9; 0,88 e 0,92, para os genótipos Amarelão, AL 30 e AG 122, mostrando um elevado índice de concordância entre os dados observado e simulados (Figuras 3).

O número total de folhas simulado, foi de 20,9; 22,9; 23,2 e 24,5, respectivamente para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122 (Figuras 4). Os valores de RMSE foram 4; 5; 3 e 3%, respectivamente, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, todos abaixo de 10%, o que é considerado excelente. Os valores do índice de concordância, d, foram 0,99; 0,97; 0,99; 0,99, respectivamente, todos elevados, indicando boa qualidade das simulações. Dados semelhantes foram observados por Amaral et al., (2014), em ensaio para parametrização do genótipo BRS 1030 para as condições de Sete Lagoas, MG, registrando índice de concordância de 0,96, para a produtividade de grãos desse genótipo. Silva et al., (2012), em trabalho para a parametrização do genótipo DKB 390YG no município de Papagaios, MG, também registraram valores elevados de d e baixos valores de RMSE para o número de folhas.

Índices de área foliar (IAF) máximo simulados de 2,8 foram obtidos para os híbridos AG 5011 e AG 122 (Figura 5). O menor valor do IAF máximo simulado, de 1,92, foi determinado para a variedade crioula Amarelão (Figura 5). A qualidade das simulações de IAF foi considerada de boa qualidade, estando todos os valores de RMSE entre 10 e 20%. Os índices de concordância, d, apresentaram valores acima de 0,9 (Figura 5).

No ensaio de parametrização do modelo, a antese observada em campo ocorreu aos 66, 74, 69 e 70, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG122, respectivamente, enquanto a maturidade fisiológica ocorreu aos 139, 144, 141, 140, respectivamente (Tabela 5).

**Tabela 5** – Duração em dias da sementeira à antese e a maturação fisiológica observadas e simuladas, para o ensaio de parametrização do modelo, em Pelotas, RS.

Genótipos	Antese		Maturação Fisiológica	
	Simulado	Observado	Simulado	Observado
	Dias Após Semeadura (DAS)			
Amarelão	64	66	139	139
AL 30	74	74	144	144
AG 5011	69	69	141	141
AG 122	70	70	140	140

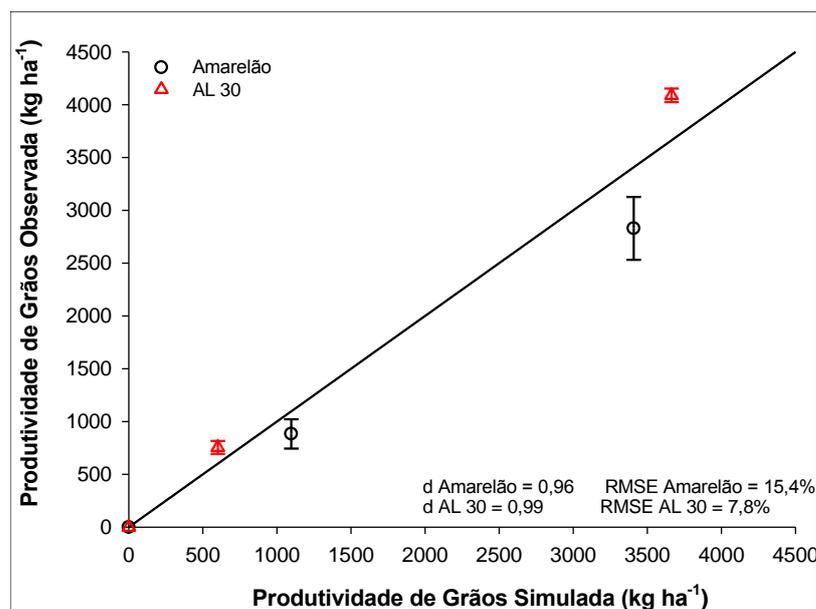
O maior valor de P1, que é a soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil, (temperatura base 8°C), foi determinado para o genótipo AL 30 e o menor para o genótipo crioulo Amarelão. Os híbridos apresentaram valores de P1 intermediários, quando comparados com as duas variedades (Tabela 6). Por outro lado, a variedade crioula Amarelão foi a que apresentou o maior valor do coeficiente P5, que é a soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base 8°C), enquanto o genótipo AL 30 foi a que apresentou o menor valor. Da mesma forma os híbridos apresentaram valores intermediários para este coeficiente (Tabela 6). O genótipo crioulo, Amarelão, apresentou um número de grãos por planta (coeficiente G2) consideravelmente menor que os observados para os demais genótipos, embora com taxas de enchimento de grãos maiores (coeficiente G3). O híbrido AG 122 foi o que apresentou o maior número de grãos por planta e com uma taxa de enchimento de grãos de 6,67 mg dia<sup>-1</sup>, o que lhe confere um maior potencial de produtividade de grãos. O genótipo AL 30 requer uma maior soma térmica para a emissão subsequente de folhas, em comparação com o híbrido AG 122 (Tabela 6).

**Tabela 6** - Coeficientes genéticos específicos dos quatro genótipos.

Coeficientes Genéticos Identificação e Descrição	Genótipos			
	Amarelão	AL 30	AG 5011	AG 122
P1 - soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil, (temperatura base 8°C).	236,3	314,5	280,4	298,3
P2 - sensibilidade ao fotoperíodo, dias de atraso na iniciação da floração masculina para cada hora de incremento do fotoperíodo acima de 12,5 horas.	0,5	0,5	0,5	0,5
P5 - soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base 8°C).	1081	972	1048	999
G2 - número máximo de grãos por planta.	293,6	580,9	589	710
G3 - taxa de enchimento do grão sob condições ótimas de crescimento ( $\text{mg dia}^{-1}$ ).	8,71	6,58	6,64	6,67
PHINT - soma térmica para o aparecimento sucessivo de folhas subseqüentes.	47,02	50,35	44,75	43,5

#### *Avaliação do Modelo*

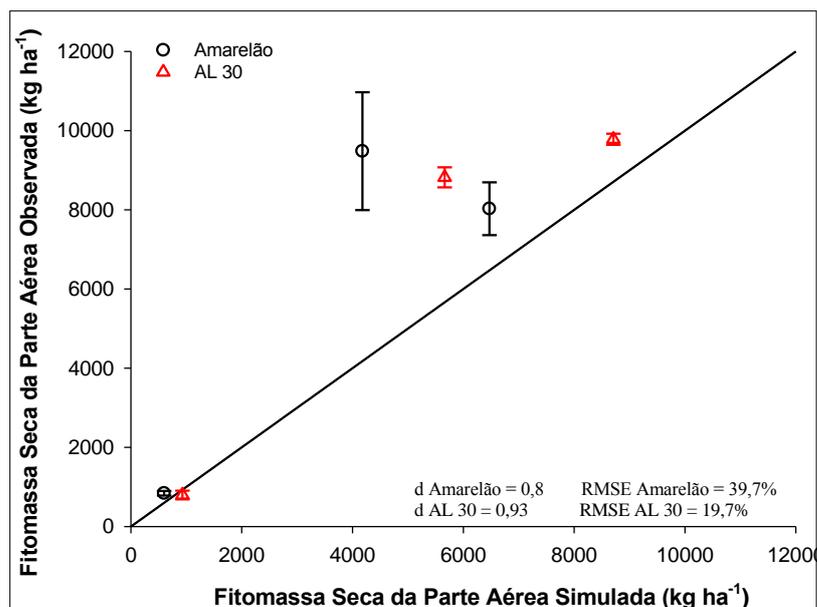
As produtividades observadas em Canguçu, RS, no momento da colheita foram de 2.829 e 4.089  $\text{kg ha}^{-1}$ , para os genótipos Amarelão e AL 30, respectivamente (Figura 6). Vogt et al. (2005), registraram média de produtividade de 3.445  $\text{kg ha}^{-1}$  para o genótipo crioulo Amarelão, quando cultivado em regime de sequeiro, em 14 estabelecimentos agrícolas do município de Anchieta, SC, estando próximos das produtividades encontradas neste estudo. Cruz et al. (2004), em trabalho onde se avaliaram 14 variedades de milho, em sistema de produção orgânico, para a produção de grãos, em regime de sequeiro, no município de Sete Lagoas, MG, Brasil, reportaram produtividade de 4.796  $\text{kg ha}^{-1}$  para a variedade AL 30. Carvalho et al. (2001), em um estudo com o objetivo de conhecer a adaptabilidade e a estabilidade de genótipos de milho em vários locais do Nordeste brasileiro, anotaram produtividades médias para o genótipo AL 30, em regime de sequeiro, da ordem de 4.151  $\text{kg ha}^{-1}$ , resultados bem próximos aos obtidos neste trabalho.



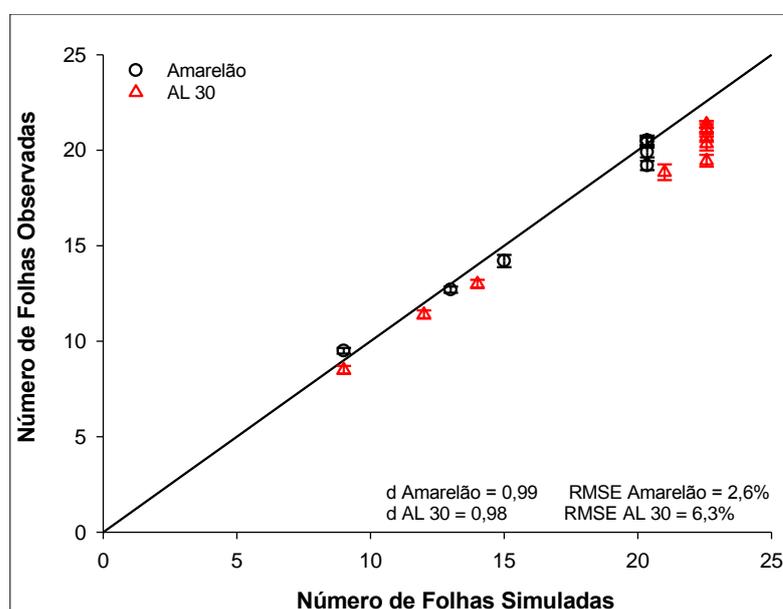
**Figura 6** – Produtividade de grãos, simulada e observada para os genótipos Amarelão e AL 30, após a validação do modelo, no município de Canguçu, RS. As barras verticais indicam o erro padrão da média. d é o índice de concordância (WILLMOTT et al., 1985), e RMSE o quadrado médio do erro (LOAGUEE GREEN, 1991), convertido para porcentagem.

A fitomassa seca da parte aérea observada na data da colheita foi de 8.028 e 9.781 kg ha<sup>-1</sup>, para os genótipos Amarelão e AL 30, respectivamente (Figura 7).

O número de folhas observado foi 20,5 e 21,4, para os genótipos Amarelão e AL 30, respectivamente (Figura 8).



**Figura 7** – Fitomassa seca da parte aérea, simulada e observada para os genótipos Amarelão e AL 30, após a validação do modelo, no município de Canguçu, RS. As barras verticais indicam o erro padrão da média. d é o índice de concordância (WILLMOTT et al., 1985), e RMSE o quadrado médio do erro (LOAGUEE GREEN, 1991), convertido para porcentagem.



**Figura 8** – Número de folhas, simulado e observado para os genótipos Amarelão e AL 30, após a validação do modelo, no município de Canguçu, RS. As barras verticais indicam o erro padrão da média. d é o índice de concordância (WILLMOTT et al., 1985), e RMSE o quadrado médio do erro (LOAGUEE GREEN, 1991), convertido para porcentagem.

O modelo simulou produtividades de 3.408 e 3.663 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para os genótipos Amarelão e AL 30 (Figura 6). Os valores da estatística RMSE foram 15% e 8%, respectivamente, indicando boa qualidade das simulações. Pereira et al. (2010), obtiveram resultados semelhantes ao avaliar a eficiência do modelo Ceres-Maize na simulação da produtividade de grãos de híbridos de milho em três épocas de cultivo na região de Lavras, MG, com valores de RMSE entre 3,3 a 15,7%. Valor da estatística d, foram de 0,96 e 0,99, para os genótipos Amarelão e AL 30, respectivamente (Figura 6), indicando elevado índice de concordância entre os dados simulados e observados. Esses resultados corroboram com os obtidos por Soler (2004) que, ao avaliar o modelo CERES-Maize na previsão de safra de milho safrinha na região de Piracicaba-SP, encontrou valores do índice de concordância d entre 0,84 e 0,99.

O valor simulado de fitomassa seca da parte aérea das plantas, na data da colheita foi 8.708 kg ha<sup>-1</sup>, para a variedade AL 30. Valores de RMSE e d foram de 19,7% e 0,93 (Figura 7), indicando simulações de boa qualidade e alto índice de concordância entre os dados simulados e observados. Para a variedade crioula Amarelão, a fitomassa seca da parte aérea simulada foi 6.470 kg ha<sup>-1</sup> e os valores de RMSE e d foram de 39,7% e 0,8, respectivamente (Figura 7). Valores elevados de RMSE para esse genótipo podem ser explicados pela alta variabilidade genética observada em condições de campo para variedades crioulas, especialmente quando associadas ao cultivado em regime de sequeiro.

O número de folhas simulado para as variedades Amarelão e AL 30 foi 21 e 23, respectivamente (Figura 8). Como no ensaio de parametrização do modelo, se observaram resultados excelentes para as simulações do número de folhas neste ensaio, com altos índices de concordância entre os dados simulados e observados. Valores de RMSE e d foram de 2,6% e 0,99, para o genótipo Amarelão (Figura 8), e 6,3% e 0,98 para a variedade AL 30, respectivamente (Figura 8).

O modelo tendeu a subestimar a data da antese e a superestimar a da maturação fisiológica para os dois genótipos estudados (Tabela 7). A antese ocorreu aos 73 e 79 DAS, em comparação com 63 e 75 DAS simulados para os genótipos Amarelão e AL 30, respectivamente. Por outro lado, a maturação fisiológica ocorreu aos 149 e 154 DAS, sendo a simulada pelo modelo ocorrida aos 151 e 162 DAS, para os dois genótipos Amarelão e AL 30, respectivamente. É possível que o modelo não esteja considerando outros fatores que podem afetar o comprimento do ciclo de

genótipos de milho, como estresse hídrico e mesmo o efeito do fotoperíodo. Outro fator que pode influenciar a comparação de valores observados e simulados de antese e maturidade fisiológica está relacionado com os critérios utilizados em campo para registro destas fases fenológicas. No presente estudo considerou-se a ocorrência da antese associada com boneca com 2 cm de cabelo e a maturidade fisiológica quando o grão apresentou camada totalmente preta na base.

**Tabela 7** – Duração em dias da semeadura à antese e a maturação fisiológica, observadas e simuladas para o ensaio de avaliação do modelo, em Canguçu, RS.

Genótipos	Antese		Maturação Fisiológica	
	Simulado	Observado	Simulado	Observado
	Dias Após Semeadura (DAS)			
Amarelão	63	73	151	149
AL 30	75	79	162	154

Pereira et al., (2010), também reportaram diferenças na maturidade fisiológica observada e simulada pelo modelo, em trabalho realizado com o objetivo de avaliar a eficiência na simulação do desempenho de híbridos de milho nas condições de Lavras, MG, sendo que para semeaduras realizadas no dia 13 de janeiro de 2007, o número de dias até a maturidade fisiológica observado e simulado para os híbridos AG7000, AG8060, P30F90 DKB199 e GNZ2004, foram de 125 e 120; 129 e 120; 133 e 118; 134 e 120; 125 e 120, respectivamente, o que vem a corroborar os dados obtidos neste estudo.

A presente pesquisa, evidencia a importância da realização de novas avaliações do modelo em diferentes situações, em ambientes variados que integrem situações diversificadas como o manejo da irrigação, a fertilidade de solos, as adubações, bem como a utilização de genótipos diferentes, visando à obtenção de estimativas mais confiáveis, de modo que essas possam permitir a generalização dos resultados para uma região mais ampla.

## Conclusão

1. O modelo CSM-CERES-Maize simulou satisfatoriamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de diferentes genótipos utilizados tanto para grão, quanto para a produção de silagem na região de Pelotas e Canguçu, RS.

## **CAPITULO 2 - UTILIZAÇÃO DO MODELO CSM-CERES-Maize COMO FERRAMENTA NA DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE SEMEADURA DE MILHO NO MUNICÍPIO DE CANGUÇU, RS**

### **Introdução**

O território zona sul do Rio Grande do Sul caracteriza-se por ser grande produtor de alimentos, principalmente na zona colonial, na encosta do escudo Sul Riograndense. Nessa região pequenos estabelecimentos produzem uma diversidade de produtos agrícolas, entre os quais o milho, que faz parte da base da alimentação do povo brasileiro. Estima-se que 46% da produção de milho no Brasil provêm de pequenas propriedades, sendo cultivado em cerca de 55% dos estabelecimentos familiares (INCRA, 2014).

Tendo em vista que, praticamente, a totalidade do milho produzido no Estado do RS é de lavoura de sequeiro, a produtividade e a produção apresentam grande variabilidade interanual, determinada, em grande parte, pela variabilidade da precipitação pluvial (BERLATO e FONTANA, 2003). Na agricultura de sequeiro, uma das estratégias disponíveis para manter a estabilidade da produção é a semeadura na época adequada que, embora não tenha efeito no custo de produção, afeta positivamente o rendimento e o lucro do produtor (COELHO et al., 2003). Trabalhos de pesquisas realizados no Brasil Central mostram que, dependendo do genótipo, o atraso na semeadura a partir da época mais adequada pode resultar em redução no rendimento de até 30 kg ha<sup>-1</sup> por dia (AMARAL et al., 2009). Segundo Forsthofer et al. (2006), a escolha da data de semeadura mais adequada é uma prática que não acarreta custos ao agricultor, mas pode garantir a produtividade da cultura do milho.

Existem várias maneiras de definir a janela de semeadura para uma determinada região. A forma mais tradicional é através da condução de ensaios em campo com datas de semeaduras escalonadas ao longo do tempo, entretanto isso requer um grande esforço de pesquisa, em termos de recursos materiais e humanos e com resultados limitados devido à grande variabilidade meteorológica interanual (AMARAL et al., 2009). Uma outra alternativa é a utilização da simulação do crescimento de culturas empregando modelos previamente calibrados e validados, a exemplo do DSSAT (“DecisionSupport System for AgrotechnologyTransfer”) (JONES et al., 2003). Esta ferramenta permite simular a produção das culturas semeadas em

diferentes datas, utilizando como entrada dados de séries históricas das condições meteorológicas, além de dados de solos e de genótipos. Desta forma, a variabilidade do tempo entre os anos é considerada, obtendo-se valores de produtividade máximos, mínimos, médios e mais frequentes, para certa data de semeadura (AMARAL et al., 2009). O zoneamento de risco climático em uso hoje pelo Ministério da Agricultura se baseia na satisfação das necessidades hídricas das culturas empregando um modelo simples de balanço de água no solo. As limitações térmicas também são consideradas (BRASIL, 2014).

Vários trabalhos tem demonstrado a eficiência do modelo CERES-Maize, para determinar épocas de semeadura ideais para o milho. Em Sete Lagoas, MG, o modelo foi utilizado, com o objetivo de definir, com base em dados estatísticos, o período de semeadura do genótipo BRS 3060 em regime de sequeiro. Em Matozinhos, MG, o modelo foi utilizado para investigar o efeito das condições meteorológicas sobre a produção de milho, e definir uma janela de semeadura para a cultura do milho irrigado. Dados meteorológicos foram utilizados para simular cenários de épocas de semeadura do genótipo BRS 1030, em regime de sequeiro, para seis municípios de Minas Gerais (ANDRADE et al., 2009; AMARAL et al., 2011; ALVES et al., 2012).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi utilizar o modelo CSM-CERES-Maize para avaliar o efeito da variabilidade meteorológica interanual na produtividade de quatro genótipos de milho, e definir uma janela de semeadura para cada uma delas, para as condições do município de Canguçu, RS.

## **Material e Métodos**

O estudo foi conduzido para as condições que representam a propriedade de base familiar, localizada no município de Canguçu, RS, Brasil (31° 23' 57,6' Sul, 52° 36' 23,3 Oeste, altitude 314 m). Foram utilizados os genótipos de milho: variedade crioula Amarelão, a variedade AL 30, híbrido triplo AG 5011 e o híbrido duplo AG 122, sendo os coeficientes genéticos específicos para cada um, previamente parametrizados e avaliados.

### Caracterização do solo

O solo representativo da região é um Argissolo (EMBRAPA, 2013). Amostras de solo deformadas e indeformadas foram coletadas nas profundidades de 0-05; 0,5-0,10; 0,10-0,30; 0,30-0,50; 0,50-0,70 m, e levadas ao laboratório para análises físicas e químicas. Foram feitas três repetições para cada uma das avaliações, nas diferentes profundidades (Tabela 1). Posteriormente os dados foram tabulados, criando o arquivo de solo, exigido pelo modelo.

**Tabela 1** – Características do perfil do solo, para as simulações no modo sazonal, para o município de Canguçu, RS.

Profundidade (m)	Ponto de Murcha (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Capacidade de Campo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Saturação (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Fator de Crescimento de Raiz	Densidade (kg m <sup>-3</sup> )	Carbono Orgânico (%)	Argila (%)	Silte (%)	Nitrogênio Total (%)	pH em água
0,05	0,260	0,300	0,380	1,00	1,5	1,2	16	16,3	0,13	5,5
0,10	0,216	0,242	0,318	1,00	1,7	1,3	22	15,1	0,11	5,2
0,30	0,185	0,213	0,373	1,00	1,6	1,0	22	18,2	0,1	5,0
0,50	0,150	0,196	0,326	0,45	1,7	1,0	25	13,9	0,09	4,8
0,70	0,335	0,344	0,404	0,30	1,6	1,4	25	22,2	0,13	4,8

### Dados meteorológicos

O clima do local é classificado, segundo Köppen, como subtropical úmido (Cfa). Dados meteorológicos diários, incluindo a precipitação, temperatura mínima e máxima do ar, e horas de brilho solar, de um período de 21 anos (1992-2013), foram obtidos na Estação Agrometeorológica da Embrapa Clima Temperado, RS (31° 42' Sul, 52° 24' Oeste, altitude 57 m), que fica aproximadamente a 50 km da propriedade agrícola familiar em Canguçu, RS. A radiação solar global diária, foi estimada a partir de dados da insolação diária, usando a equação Angström-Prescott (ANGSTRÖM, 1924; PRESCOTT, 1940).

### Cenários Simulados

A ferramenta de análise sazonal do DSSAT (THORNTON e HOOGENBOOM, 1994) foi utilizada para avaliar o efeito inter-anual e sazonal dos elementos das condições meteorológicas, no crescimento e desenvolvimento do

milho para a produção de grãos em regime de sequeiro. As semeaduras simuladas foram programadas para serem realizadas semanalmente, iniciando em 01 de agosto e estendendo-se por 52 semanas até 24 de julho (Tabela 2).

**Tabela 2** - Identificação das datas de semeadura simuladas, para o município de Canguçu, RS.

TRNO <sup>(1)</sup>	Data <sup>(2)</sup>	TRNO	Data								
1	01/ago	10	03/out	19	05/dez	28	06/fev	37	10/abr	46	12/jun
2	08/ago	11	10/out	20	12/dez	29	13/fev	38	17/abr	47	19/jun
3	15/ago	12	17/out	21	19/dez	30	20/fev	39	24/abr	48	26/jun
4	22/ago	13	24/out	22	26/dez	31	27/fev	40	01/mai	49	3/jul
5	29/ago	14	31/out	23	2/jan	32	6/mar	41	08/mai	50	10/jul
6	05/set	15	7/nov	24	9/jan	33	13/mar	42	15/mai	51	17/jul
7	12/set	16	14/nov	25	16/jan	34	20/mar	43	22/mai	52	24/jul
8	19/set	17	21/nov	26	23/jan	35	27/mar	44	29/mai		
9	26/set	18	28/nov	27	30/jan	36	03/abr	45	5/jun		

<sup>(1)</sup> TRNO – Tratamento

<sup>(2)</sup> Data – Data da semeadura

Assumiu-se nas simulações um espaçamento de 0,8 m entre fileiras de milho, para todos os genótipos. A população de plantas semeadas foi de 5 plantas m<sup>-2</sup> para a variedade crioula, Amarelão, e para a variedade AL 30 e de 6 plantas m<sup>-2</sup> para os híbridos AG 5011 e AG 122 (PEREIRA FILHO e CRUZ, 2010).

Para todas os genótipos assumiu-se uma alta dose de adubação nitrogenada, para que não houvesse déficit nutricional, assim a adubação simulada foi de 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 (N-P-K), aplicados no sulco da semeadura, mais 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia aplicados aos 30 Dias Após Semeadura (DAS).

Para cada data de semeadura, geraram-se 21 dados simulados de produtividade de grãos, que foram plotados na forma de distribuição de frequência, onde pode-se avaliar as variabilidades interanuais, para cada data de semeadura.

A média dos dados simulados foi utilizada para avaliação da produtividade, e para o estabelecimento da janela de semeadura segundo a metodologia descrita em Amaral et. al. (2009), onde a porcentagem de redução da produtividade, em cada data de semeadura, tomando como referência a data de maior produtividade, foi determinada, de acordo com a Equação 1:

$$P_s = \left(1 - \frac{Y_s}{Y_{\max}}\right) * 100 \quad (1)$$

em que:

$P_s$ : é a porcentagem de redução da produtividade para a semeadura “s”;

$Y_s$ : é a produtividade da data “s”;

$Y_{\max}$ : é a produtividade máxima entre todas as datas de semeadura.

## Resultados e Discussão

Quando se avaliou a produtividade de grãos, para os diferentes genótipos, observou-se uma grande variação inter-anual dos valores simulados, para todas as datas de semeadura (Figuras 1A e 1B, Figuras 2 A e 2B).

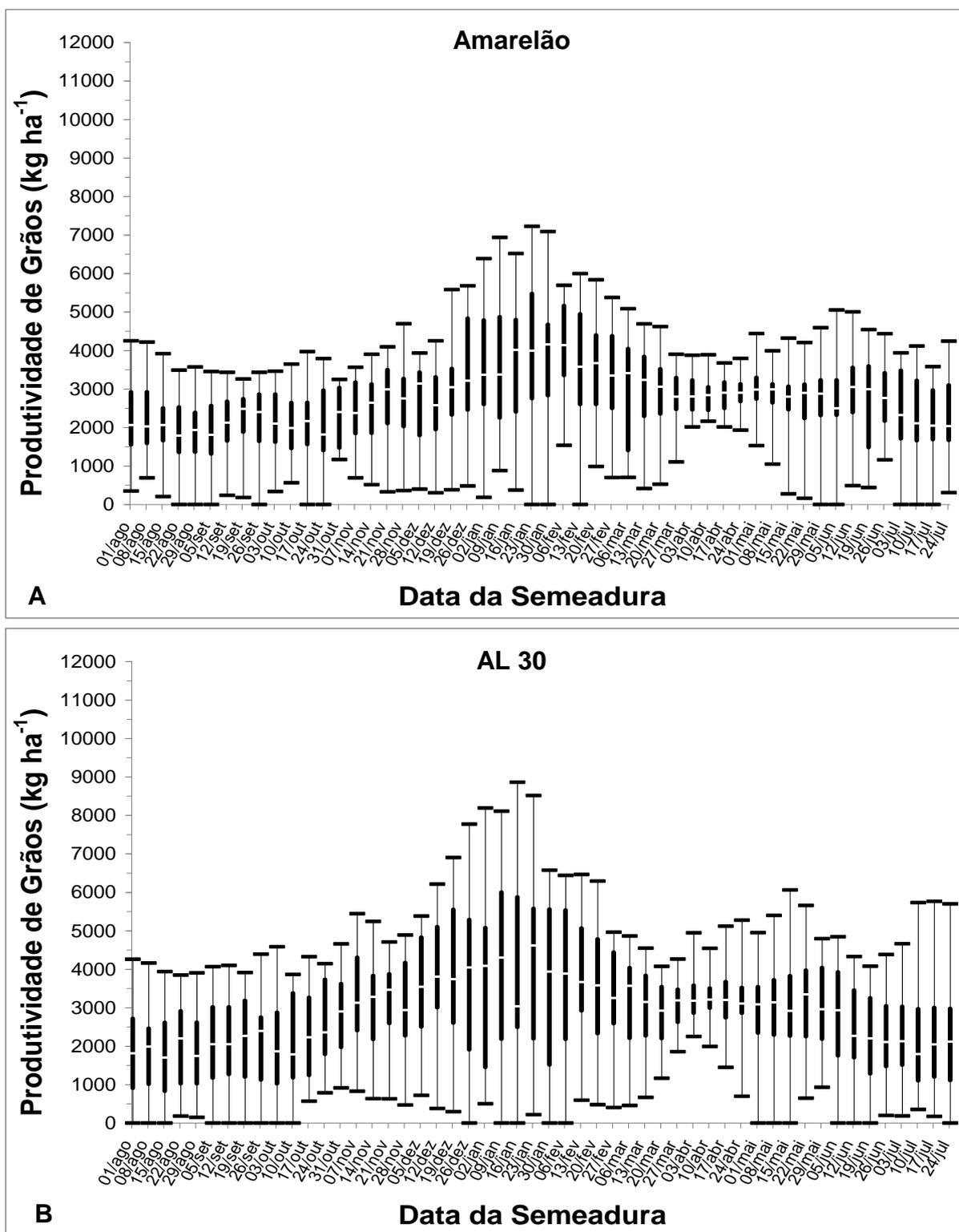
Para a variedade crioula Amarelão, produtividades variaram de um mínimo de 0 kg ha<sup>-1</sup> a um máximo de 7.224 kg ha<sup>-1</sup>, para todas as datas de semeadura (Figura 1A), sendo esse genótipo com menores valores máximos de produtividade simulados. Para a variedade AL 30 as produtividades variaram de 0 a 8.860 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1B). Para o híbrido AG 5011 variaram de 0 a 10.198 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2A). Para o híbrido AG 122 variaram de 0 a 11.171 kg ha<sup>-1</sup>, apresentando maiores valores máximos de produtividades simuladas pelo modelo (Figura 2B). Observa-se que, houve um incremento na produtividade em decorrência do potencial genético, que confere aos híbridos um potencial produtivo mais elevado, em anos onde as condições meteorológicas foram favoráveis.

Na semeadura realizada no dia 23 de janeiro, para a variedade crioula Amarelão, pode-se observar que em condições meteorológicas desfavoráveis, como veranicos e geadas, em 25% dos anos a produtividade de grãos pode variar de 0 a 2.749 kg ha<sup>-1</sup>. Da mesma forma, para 25% dos anos, devido às condições meteorológicas favoráveis, a produtividade pode variar de 5.479 a 7.224 kg ha<sup>-1</sup>. Em 50% dos anos a produtividade pode variar entre 2.749 a 5.479 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1A), sendo esse o genótipo com menor desempenho entre todas.

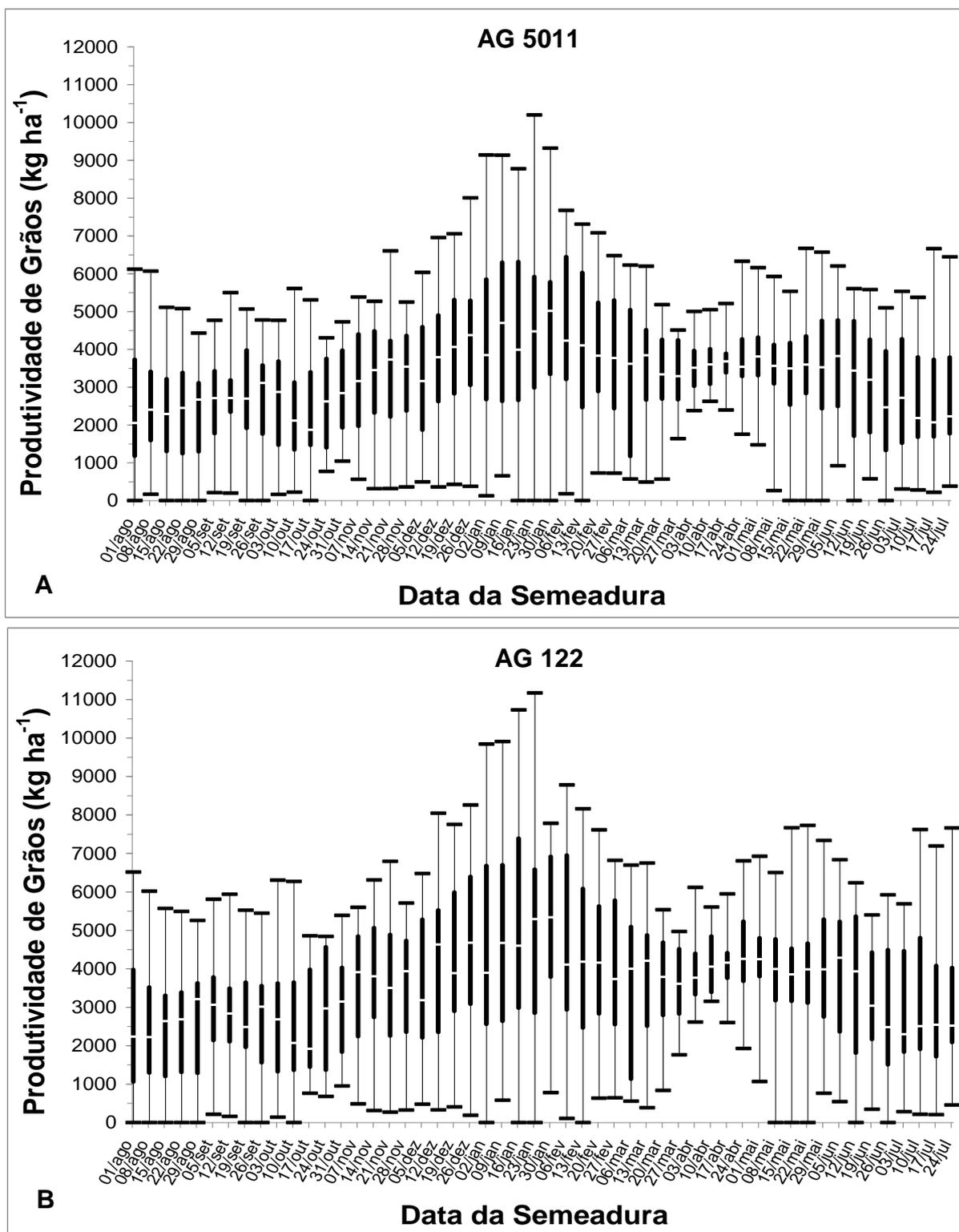
Para a mesma data de semeadura, em 25% dos anos a produtividade do genótipo AL 30, pode variar entre 219 a 2.189 kg ha<sup>-1</sup>; da mesma maneira, em outros 25% pode variar de 5.578 a 8.517 kg ha<sup>-1</sup>, e em 50% dos anos de 2.189 a 5.578 (Figura 1B). Para o híbrido AG 5011, produtividades podem variar de 0 a

2.977 kg ha<sup>-1</sup>, em 25% dos anos. Em outros 25% podem variar de 5.922 a 10.198 kg ha<sup>-1</sup>, e em 50% de 2.977 a 10.198 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2A).

Para a mesma data de semeadura, o híbrido AG 122 mostrou o melhor desempenho, em comparação com os demais genótipos. Em 25% dos anos as produtividades podem variar entre 0 a 2.842 kg ha<sup>-1</sup>; da mesma maneira em outros 25%, podem variar de 6.586 a 11.171 kg ha<sup>-1</sup>, e em 50% dos anos de 2.842 a 6.586 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2B). Esses valores simulados estão dentro da média de produtividade reportada pelo IBGE (2014), para o município de Canguçu, RS, que foi de 2.400, 1.000, 480, 720, 2.400, 1.800, 2.040, 2.400, 2.400 e 960, para os anos de 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 e 2012, respectivamente. Entretanto, altas produtividades médias não foram reportadas pelo IBGE. Isso se deve ao baixo nível de tecnologia empregado pelos produtores de milho no município de Canguçu, sendo a grande maioria deles agricultores familiares. Esse quadro pode ser mudado, pois segundo as simulações realizadas neste trabalho, produtividades acima da média reportada pelo IBGE, podem ser alcançadas quando adotadas práticas de manejo adequadas para cada tipo de genótipo específico.

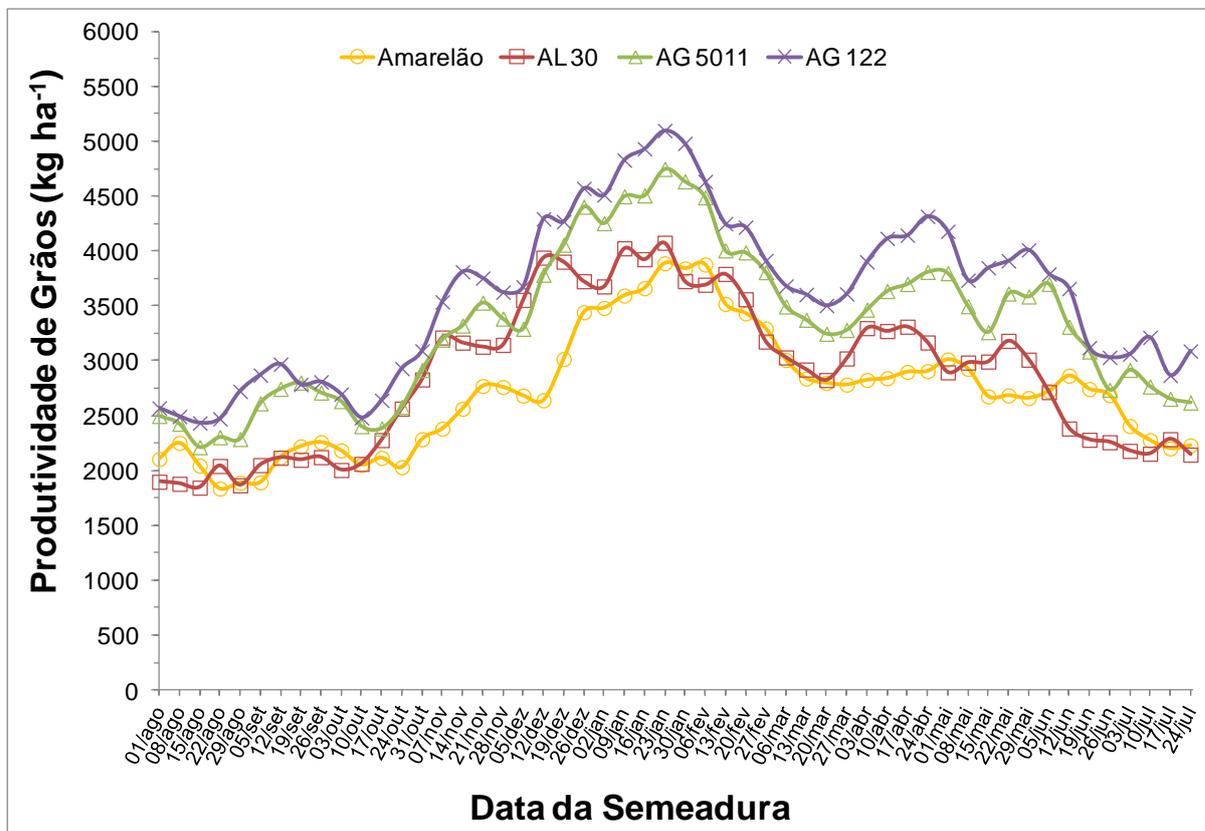


**Figura 1** - Variação da produtividade de grãos para os genótipos Amarelão (A) e AL 30 (B), para as diferentes datas de semeadura, para as condições do município de Canguçu, RS. A parte inferior da caixa indica o percentil 25, a linha na caixa indica a mediana, e o limite superior da caixa indica o percentil 75.



**Figura 2** - Variação da produtividade de grãos para os genótipos AG 5011 (A) e AG 122 (B), para as diferentes datas de semeadura, para as condições do município de Canguçu, RS. A parte inferior da caixa indica o percentil 25, a linha na caixa indica a mediana, e o limite superior da caixa indica o percentil 75.

Mesmo com o regime de chuvas bem distribuído ao longo do ano, que normalmente ocorre no Rio Grande do Sul, nota-se uma variabilidade na produtividade média de grãos de milho para todos os genótipos estudados (Figura 3).



**Figura 3** - Produtividade média de grãos de milho em função da data da sementeira, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122. Canguçu, RS, Brasil.

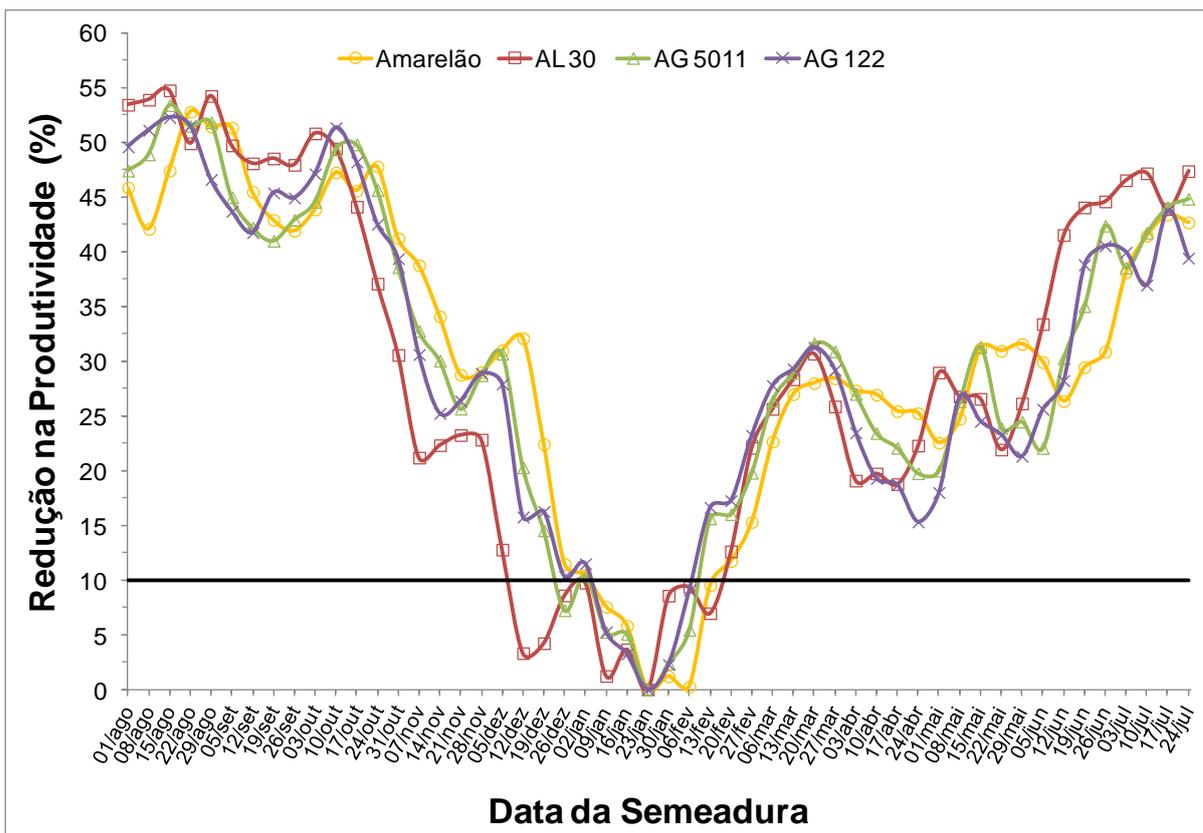
As produtividades médias simuladas variaram de 1.836 a 3.889 kg ha<sup>-1</sup> para a variedade crioula Amarelão (Figura 3). Para o mesmo genótipo Vogt (2005), relatou produtividade média de 3.960 kg ha<sup>-1</sup> para 14 estabelecimentos agrícolas do município de Anchieta, SC. Para a variedade AL 30, produtividades simuladas variaram 1.844 a 4.076 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 3). Cruz et al. (2004) reportaram produtividade de 4.796 kg ha<sup>-1</sup> para a variedade AL 30 em um trabalho onde se avaliaram 14 variedades de milho, em sistema de produção orgânico, para a produção de grãos no município de Sete Lagoas, MG, Brasil. Já Carvalho et al. (2001) obtiveram produtividades médias para o mesmo genótipo da ordem de 4.151 kg ha<sup>-1</sup>, em vários locais do Nordeste Brasileiro. Tais resultados estão bem próximos dos obtidos na presente pesquisa. Para o híbrido AG 5011 as produtividades médias

simuladas variaram de 2.213 a 4.749 kg ha<sup>-1</sup>, e para o híbrido AG 122 as produtividades médias simuladas variaram de 2.433 a 5.099 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 3). Vogt et al. (2012) reportaram produtividade de 5.440 kg ha<sup>-1</sup> para o genótipo AG 5011, em avaliação de genótipos para regiões do Estado de Santa Catarina. Araújo e Nass (2002), em avaliação do genótipo AG 122, registraram produtividade de 5.072 kg ha<sup>-1</sup> para o município de Anhembi, SP.

Valores médios máximos simulados pelo modelo ficaram próximos à média de produtividade do ano de 2012, para o estado do Rio Grande do Sul, que foi de 5.102 kg ha<sup>-1</sup> e próximos também da produtividade média nacional para o mesmo ano que foi de 4.760 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2014).

Para todos os genótipos, os valores médios máximos de produtividade simulados foram obtidos para a semeadura realizada no dia 23 de janeiro, enquanto os valores médios mínimos simulados foram determinados para semeadura realizada em 15 de agosto para os genótipos AL 30, AG 5011 e AG 122, e em 22 de agosto para a variedade crioula Amarelão (Figuras 3).

A redução na produtividade de grãos, em relação à produtividade máxima simulada de milho, variou de zero a 53% para os genótipos Amarelão e AG 5011, de 0 a 55% para o genótipo AL 30; e de 0 a 52% para o genótipo AG 122 (Figuras 4). Admitindo-se que o produtor pode tolerar uma redução de até 10% na produtividade para certa data de semeadura em relação a um valor médio máximo histórico, observa-se que, para a variedade AL 30, a maior janela de semeadura se estende de 12 de dezembro a 13 de fevereiro, ou seja, têm-se 64 dias disponíveis para realizar a semeadura (Figura 4). Da mesma forma, a variedade crioula, Amarelão, apresentou uma janela de semeadura que vai de 26 dezembro a 13 de fevereiro, com 50 dias disponíveis para se realizar a semeadura (Figura 4). Os dois híbridos, AG 5011 e AG 122, apresentaram a menor janela de semeadura, que se estendeu de 26 de dezembro a 06 de fevereiro, contando com 43 dias para se realizar a semeadura (Figura 4).



**Figura 4** - Redução média da produtividade de grãos de milho em função da data da sementeira, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122. Canguçu, RS.

Observa-se que há uma discrepância entre as janelas de sementeira recomendadas pelo zoneamento de risco climático do MAPA (BRASIL, 2014) e aquelas estabelecidas com a utilização do modelo CERES-Maize assumindo-se um nível de quebra de 10%. Obviamente as metodologias empregadas nos dois processos são diferentes. O modelo de simulação DSSAT integra vários fatores de condições meteorológicas, solo e cultura, que não são ainda totalmente considerados na metodologia do zoneamento de risco climático atual. O período de sementeira estabelecido pelo zoneamento atual é de 01 de outubro a 10 de janeiro para os genótipos AL 30, AG 5011 e AG 122, não havendo informações sobre a variedade crioula Amarelão. A janela de sementeira obtida com o modelo DSSAT é mais curta e deslocada para frente na estação. A vantagem da metodologia aqui utilizada está na possibilidade do tomador de decisão definir o risco que estaria disposto a correr, além de ter uma estimativa da produtividade esperada.

## **Conclusões**

1. O modelo CSM-CERES-Maize mostrou ser uma ferramenta de auxílio adequada para definição do período de semeadura para a produção de grãos de milho no município de Canguçu, RS. Além da janela de semeadura a utilização de modelo baseado em processo permite a estimativa da produtividade esperada.

2. O período de semeadura, determinado com o uso do modelo baseado em processo, é diferente entre os genótipos estudados, sendo mais longo para o genótipo AL 30 e mais curto para os híbridos AG 5011 e AG 122. É também mais restritivo que os períodos estabelecidos pelo MAPA, sobretudo quanto ao início da janela.

# **CAPÍTULO 3 - UTILIZAÇÃO DO MODELO CSM-CERES-Maize COMO FERRAMENTA NA DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO DE SILAGEM NO MUNICÍPIO DE CANGUÇU, RS**

## **INTRODUÇÃO**

Segundo o senso Agropecuário de 2006, a agricultura familiar no Rio Grande do Sul conta com 226.311 estabelecimentos produtores de milho, com uma área colhida de 908.615 ha. A quantidade produzida é de 3.480.534.741 kg, e o valor total da produção é de R\$ 902.496.773,00 reais. A totalidade do milho produzido no estado é sob lavoura de sequeiro, cuja produtividade e produção apresentam grande variabilidade interanual, determinada em grande parte pela variabilidade da precipitação pluvial (BERLATO e FONTANA, 2003). Alguns autores (MATZENAUER e FONTANA, 1987; MATZENAUER et al., 1995) têm mostrado a relação entre produtividade do milho e condições hídricas, especialmente no período mais crítico dessa cultura em relação à água (pendoamento-espigamento).

O milho é uma das culturas mais usadas para a produção de silagem em virtude da facilidade de cultivo, alta produção de massa, facilidade de fermentação dentro do silo, bom valor energético e alto consumo pelos animais. Essa estratégia permite dispor de alimento volumoso para os rebanhos durante o período de estacionalidade de produção das plantas forrageiras (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000; CRUZ et al., 2001).

Usualmente agricultores familiares do território zona sul do Rio Grande do Sul fazem a semeadura do milho tendo como objetivo a produção de silagem. A ocorrência de temperaturas baixas e geadas afetam a quantidade e qualidade das pastagens. Para suprir as necessidades dos animais nesses períodos de escassez, a silagem de milho tem sido muito utilizada (MITTELMANN et al., 2005). Entretanto, há dúvidas entre os produtores sobre qual o melhor genótipo de milho, melhor dose de nitrogênio e melhor data de semeadura podem ser utilizadas.

A caracterização agronômica dos materiais genéticos disponíveis é importante para nortear a escolha dos genótipos que propiciem alta produção e elevado valor nutritivo (SANTOS et al., 2010). Segundo Almeida Filho et al. (1999), a identificação de plantas mais adaptadas às condições em que serão cultivadas contribuirá para maiores rendimentos da cultura do milho, ressaltando que, além da

genética, a produção é influenciada pela qualidade das sementes, época de semeadura, população de plantas, preparo, correção e adubação do solo, controle de plantas concorrentes, pragas e doenças, entre outros.

A resposta da cultura do milho, em termos de produção de fitomassa e produtividade de grãos depende de um grande número de fatores que interagem entre si, sendo que alguns destes fatores são muito dinâmicos, como, por exemplo, as condições meteorológicas. A modelagem pode ser uma ferramenta muito útil neste caso, pois além de possibilitar a simulação de cenários diversos de manejo dos fatores de produção, permite o entendimento da dinâmica dos processos envolvidos no sistema e também o isolamento do efeito de alguns destes fatores na produtividade das culturas. O modelo de crescimento de culturas, DSSAT (*DecisionSupport System for AgrotechnologyTransfer*) (JONES et al., 2003) vem se destacando, pois possibilita a análise da dinâmica da água e de nutrientes e do efeito das práticas de manejo na produtividade das culturas e na rentabilidade das explorações.

Vários trabalhos, de âmbito nacional e internacional, têm demonstrado a eficiência do modelo DSSAT no auxílio à tomada de decisões de manejo, os quais alguns deles são aqui destacados. AMARAL et al. (2009), empregaram os resultados de simulações com o modelo CSM-CERES-Maize para o desenvolvimento de uma metodologia para auxiliar na tomada de decisão quanto ao período de semeadura de milho para as condições de Sete Lagoas, MG. Liu et al., (2011), usaram o modelo para simular a produtividade do milho e a dinâmica do nitrogênio (N) e da água no solo ao longo de 50 anos de produção de milho, com e sem aplicação de fertilizantes, e avaliaram o modelo comparando dados simulados e observados de rendimento de milho e de N no solo, nas condições ambientais do Woodslee, Ontario, Canadá. Na Flórida, He et al. (2012), utilizaram o modelo CERES-Maize com o objetivo de simular a produtividade do milho doce e a lixiviação acumulada de N, para se determinar uma estratégia alternativa de manejo de N e irrigação. Andrade et al. (2012) avaliaram a produtividade e rentabilidade de um sistema de produção de milho de sequeiro para pequenos agricultores, utilizando esterco bovino como fonte de N, em Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. Silva et al. (2013) utilizaram o modelo CSM-CERES-Maize para avaliar a sustentabilidade do uso a longo prazo de dejetos de suínos para a produção de milho de sequeiro para obter uma estratégia de manejo que permita uma menor lixiviação de nitrato. Paixão

et al. (2013), usaram, através do modelo, os resultados de produtividade do milho simulados para estabelecer janelas de semeadura, para diversos municípios do estado de Minas Gerais, sob condições de sequeiro, e compararam os resultados com a metodologia atual, utilizada pelo Ministério da Agricultura (MAPA) (Brasil, 2014).

Entretanto, poucos trabalhos como o de Braga et al. (2008), onde o modelo Ceres-Maize foi utilizado com o objetivo de implementar linhas precisas e quantificadas de suporte a decisão para a otimização tática da produção de silagem de milho no sistema de agricultura de Entre Douro e Minho, Portugal, tem sido desenvolvidos em outros países.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de quatro genótipos, simulando diferentes datas de semeadura e adubação nitrogenada, logo propor cenários de manejo, visando uma melhor produtividade vinculada a uma melhor qualidade da silagem produzida.

### **Material e Métodos**

O estudo foi conduzido para as condições que representam uma propriedade de base familiar, localizada no município de Canguçu, RS (31° 23' 57,6' Sul, 52° 36' 23,3 Oeste, altitude 314 m). O referido produtor foi escolhido por ser um típico representante dos agricultores familiares da região, e por já trabalhar a vários anos com lavoura de milho em sua propriedade. Foram selecionadas quatro genótipos para esse trabalho: o híbrido triplo AG 5011 e o híbrido duplo AG 122, a variedade AL 30 e a variedade crioula Amarelão.

#### *Caracterização do solo*

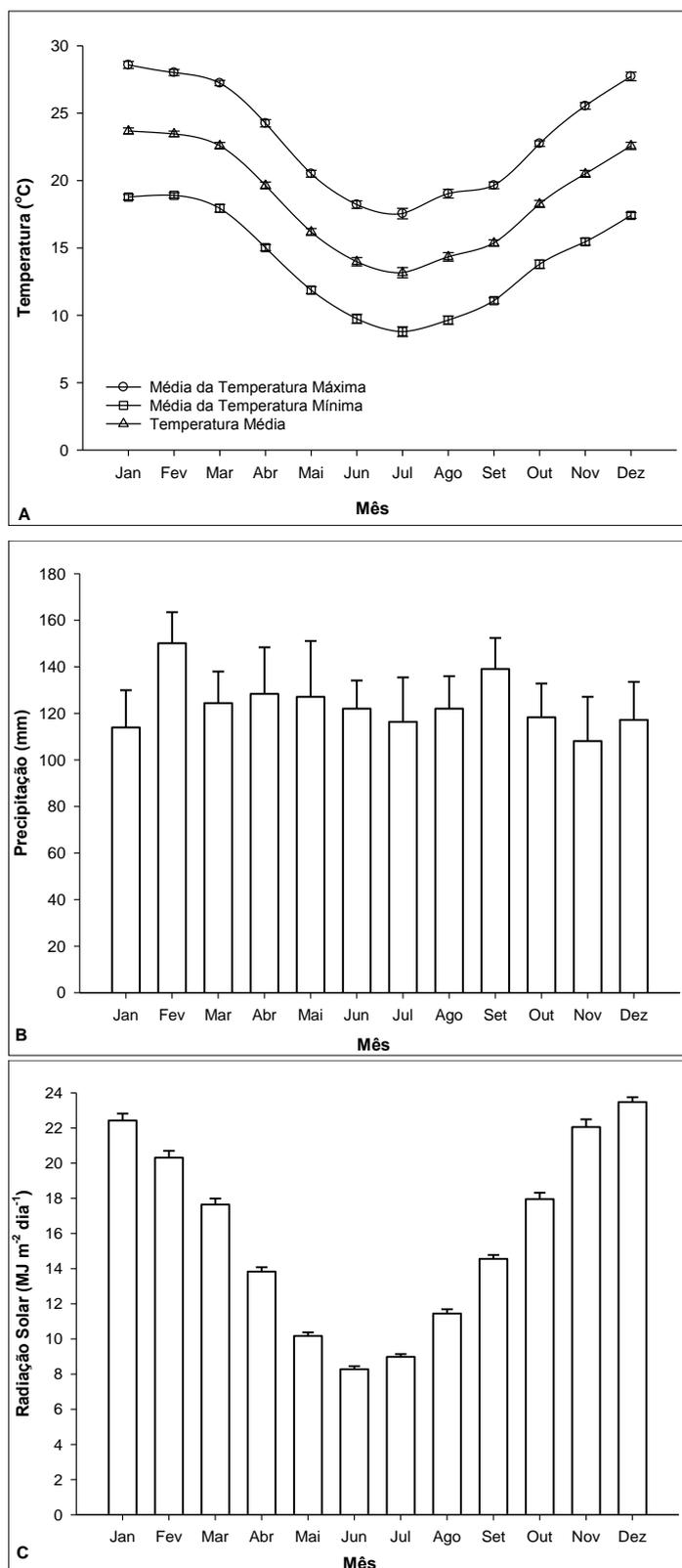
O solo representativo da região é um Argissolo (EMBRAPA, 2013). Amostras de solo, deformadas e indeformadas, foram coletadas nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,30; 0,30-0,50; 0,50-0,70 m, e levadas aos laboratórios para análises físicas e químicas (Tabela 1) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas. Posteriormente os dados foram tabulados, sendo criado o arquivo de solo, exigido pelo modelo.

**Tabela 1** – Características do perfil do solo, para as simulações no modo sazonal, para o município de Canguçu, RS.

Profundidade	Ponto de Murcha	Capacidade de Campo	Saturação	Fator de Crescimento de Raiz	Densidade	Carbono Orgânico	Argila	Silte	Nitrogênio Total	pH em água
(m)	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )		(kg m <sup>-3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	
0,05	0,260	0,300	0,380	1,00	1,5	1,2	16	16,3	0,13	5,5
0,10	0,216	0,242	0,318	1,00	1,7	1,3	22	15,1	0,11	5,2
0,30	0,185	0,213	0,373	1,00	1,6	1,0	22	18,2	0,1	5,0
0,50	0,150	0,196	0,326	0,45	1,7	1,0	25	13,9	0,09	4,8
0,70	0,335	0,344	0,404	0,30	1,6	1,4	25	22,2	0,13	4,8

### *Dados meteorológicos*

Para se criar o arquivo de condições meteorológicas exigido pelo modelo, foram obtidos dados meteorológicos diários, incluindo a precipitação, temperatura mínima e máxima do ar, e horas de insolação, para um período de 21 anos (1992-2013) (Figura 1A, 1B e 1C), na Estação Agrometeorológica da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS (31° 42' Sul, 52° 24' Oeste, altitude 57 m), que fica aproximadamente a 50 km da propriedade do agricultor familiar, em Canguçu, RS, sendo o clima do local do estudo classificado, segundo Köppen, como subtropical úmido (Cfa). A radiação solar diária foi estimada a partir de dados de insolação, usando a equação de Angström-Prescott (Angström, 1924; Prescott, 1940). A temperatura máxima média da região varia de 28,6 °C, em janeiro a 17,6°C, em julho; a temperatura mínima média varia de 18,9°C, em fevereiro a 8,8 °C, em julho e a temperatura média diária varia de 23,7 °C, em janeiro a 13,2 °C, em julho (Figura 1A). A precipitação é uniforme ao longo dos meses, sendo fevereiro o mês mais chuvoso, com uma precipitação média de 150 mm e novembro o mês mais seco, com uma precipitação média de 108 mm. A precipitação média anual é de 1.487 mm (Figura 1B). Valores médios máximos de radiação solar incidente de 23,5 a 20,3 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> foram observados entre os meses de novembro a fevereiro; os menores valores médios de radiação, de 8,3 e 9,03 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, foram observados nos meses de junho e julho, respectivamente (Figura 1C).



**Figura 1** - Média mensal da temperatura do ar (A), precipitação (B) e radiação solar (C) entre 1992 - 2013, para Pelotas, RS, Brasil.

### Cenários Simulados

A ferramenta de análise sazonal do modelo DSSAT (THORNTON e HOOGENBOOM, 1994) foi utilizada para se avaliar o efeito da variabilidade inter-anual e sazonal dos elementos meteorológicos no crescimento e desenvolvimento da cultura do milho para a produção de silagem em regime de sequeiro. As semeaduras foram programadas para serem semanais, iniciando em 01 de agosto e estendendo-se por 52 semanas até 24 de julho (Tabela 2).

**Tabela 2** - Identificação das datas de semeadura simuladas.

TRNO <sup>(1)</sup>	Data <sup>(2)</sup>	TRNO	Data								
1	01/ago	10	03/out	19	05/dez	28	06/fev	37	10/abr	46	12/jun
2	08/ago	11	10/out	20	12/dez	29	13/fev	38	17/abr	47	19/jun
3	15/ago	12	17/out	21	19/dez	30	20/fev	39	24/abr	48	26/jun
4	22/ago	13	24/out	22	26/dez	31	27/fev	40	01/mai	49	3/jul
5	29/ago	14	31/out	23	2/jan	32	6/mar	41	08/mai	50	10/jul
6	05/set	15	7/nov	24	9/jan	33	13/mar	42	15/mai	51	17/jul
7	12/set	16	14/nov	25	16/jan	34	20/mar	43	22/mai	52	24/jul
8	19/set	17	21/nov	26	23/jan	35	27/mar	44	29/mai		
9	26/set	18	28/nov	27	30/jan	36	03/abr	45	5/jun		

<sup>(1)</sup> TRNO – Tratamento

<sup>(2)</sup> Data – Data da semeadura

Assumiu-se nas simulações um espaçamento entre fileiras de 0,8 m para todos os genótipos e datas de semeadura. Seguiram-se as recomendações de Pereira Filho e Cruz (2013) para se determinar a população de plantas semeadas, que foi de 5 plantas m<sup>-2</sup> para a variedade crioula Amarelão, e para a variedade AL 30, e de 6 plantas m<sup>-2</sup> para os dois híbridos, AG 5011 e AG 122.

Para todos os genótipos, seis diferentes estratégias de manejo de adubação nitrogenada foram simuladas: T1 - Tratamento sem adubação; T2 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 (N-P-K), aplicados no sulco da semeadura; T3 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 (N-P-K), aplicados no sulco da semeadura, mais 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (N) na forma de ureia, aplicados aos 30 Dias Após Semeadura (DAS); T4 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 (N-P-K), aplicados no sulco da semeadura, mais 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia, aplicados aos 30 DAS; T5 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 (N-P-K), aplicados no sulco da semeadura, mais 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia aplicados aos 30 DAS; T6 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 (N-P-

K), aplicados no sulco da semeadura, mais 200 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia, aplicados aos 30 DAS.

Após as simulações dos cenários com a ferramenta de análise sazonal, os dados de saída do modelo foram analisados estatisticamente, considerando um delineamento fatorial com quatro genótipos, seis estratégias de adubação mineral, 52 datas de semeadura e 21 anos de dados meteorológicos diários, resultando em 26.208 (4x6x52x21) valores simulados de produtividade de silagem, de grãos e de espiga.

#### *Determinação da época de semeadura*

Para se determinar uma época de semeadura para a produção de silagem, primeiramente foi levado em consideração que o inverno é um fator limitante para o desenvolvimento das pastagens no RS, e é preciso se ter silagem disponível neste período para se complementar a alimentação animal. Sendo assim, foi adotada uma data limite para a colheita da silagem (21 de junho, data do início do inverno no Brasil). As datas de semeadura que propiciassem a colheita da silagem depois desta data-limite foram consideradas inaptas.

#### *Ponto de colheita do milho para a produção de silagem*

Segundo Braga et al (2008), o modelo CERES-Maize simula sete estados fenológicos para a cultura do milho, que são: germinação, emergência, fim da fase juvenil, iniciação floral, 75% de floração, início de enchimento de grão e maturação. Entretanto, o modelo não simula a data para a colheita do milho para a silagem. Normalmente, a colheita do milho para silagem é determinada mediante avaliação do teor de umidade da planta ou pela posição da linha de leite no grão (WIERSMA et al., 1993; HAVILAH et al., 1995). De acordo com estes autores, a relação genérica entre linha de leite e umidade da planta de milho para silagem, é como segue: 66% de umidade da planta quando a linha de leite se encontra a 50% entre a coroa do grão e o local de inserção na espiga; 63% de teor de umidade da planta quando a linha do leite se encontra a  $\frac{3}{4}$  entre a coroa e o ponto de inserção e 60% quando a linha de leite se encontra no ponto de inserção ou não é visível, sendo esse último estágio considerado como o teor de umidade mínimo para o qual pode ser produzida

silagem de boa qualidade. Neste trabalho, foi considerado que a linha do leite se encontra a ½ distância entre a coroa e o ponto de inserção, o que é correspondente a 13 dias antes da maturação fisiológica como o ponto de colheita do milho para a produção de silagem (WIERSMA et al., 1993; BRAGA et al., 2008).

### *Qualidade da Silagem*

Não só a produtividade de fitomassa seca da parte aérea, simulada pelo modelo, foi considerada. Avaliou-se também a qualidade da silagem conforme a metodologia descrita por Braga et al. (2008). A produtividade de fitomassa seca da parte aérea, foi convertida em UFL (Unidades Forrageiras de Leite), sendo 1 UFL a quantidade de energia fornecida por 1 kg de cevada a uma vaca lactante acima das necessidades energéticas de manutenção (VERMOREL, 1998). Portanto, foram calculados os valores de energia por unidade de peso de fitomassa (EPUWHB) através da equação 1, e energia por unidade de área (EPUA) através da equação 2.

$$\text{EPUWHB} = \text{ETBR} * \text{EPUWE} + (1-\text{ETBR}) * \text{EPUWSL} \quad (1)$$

$$\text{EPUA} = \text{CWAH} * \text{EPUWHB} \quad (2)$$

Onde:

EPUWHB - Energia por unidade de peso de fitomassa colhida (UFL kg<sup>-1</sup>);

ETBR - Razão entre o peso da espiga e o total de fitomassa;

EPUWE - Energia por unidade de peso de espigas colhidas (UFL kg<sup>-1</sup>);

EPUWSL - Energia por unidade de peso de caules e folhas colhidos (UFL kg ha<sup>-1</sup>).

EPUA - Energia por unidade de área (UFL kg<sup>-1</sup>);

CWAH - Biomassa total (kg ha<sup>-1</sup>);

A conversão da produtividade de fitomassa seca da parte aérea do modelo em energia foi baseada na relação entre a qualidade da silagem e a proporção de grão no total da fitomassa (índice de colheita) (COX et al., 1994). Foram utilizados os valores de 0,61 UFL kg<sup>-1</sup> para concentrações energéticas de caule + folhas (EPUWSL) e 1,08 UFL kg<sup>-1</sup> para espigas (EPUWE) (Eq. 1). O valor de energia em

UFL kg<sup>-1</sup> (EPUWHB) foi multiplicado pelo total de fitomassa colhida para calcular a produtividade energética (EPUA) (Eq. 2).

### *Analises estatísticas*

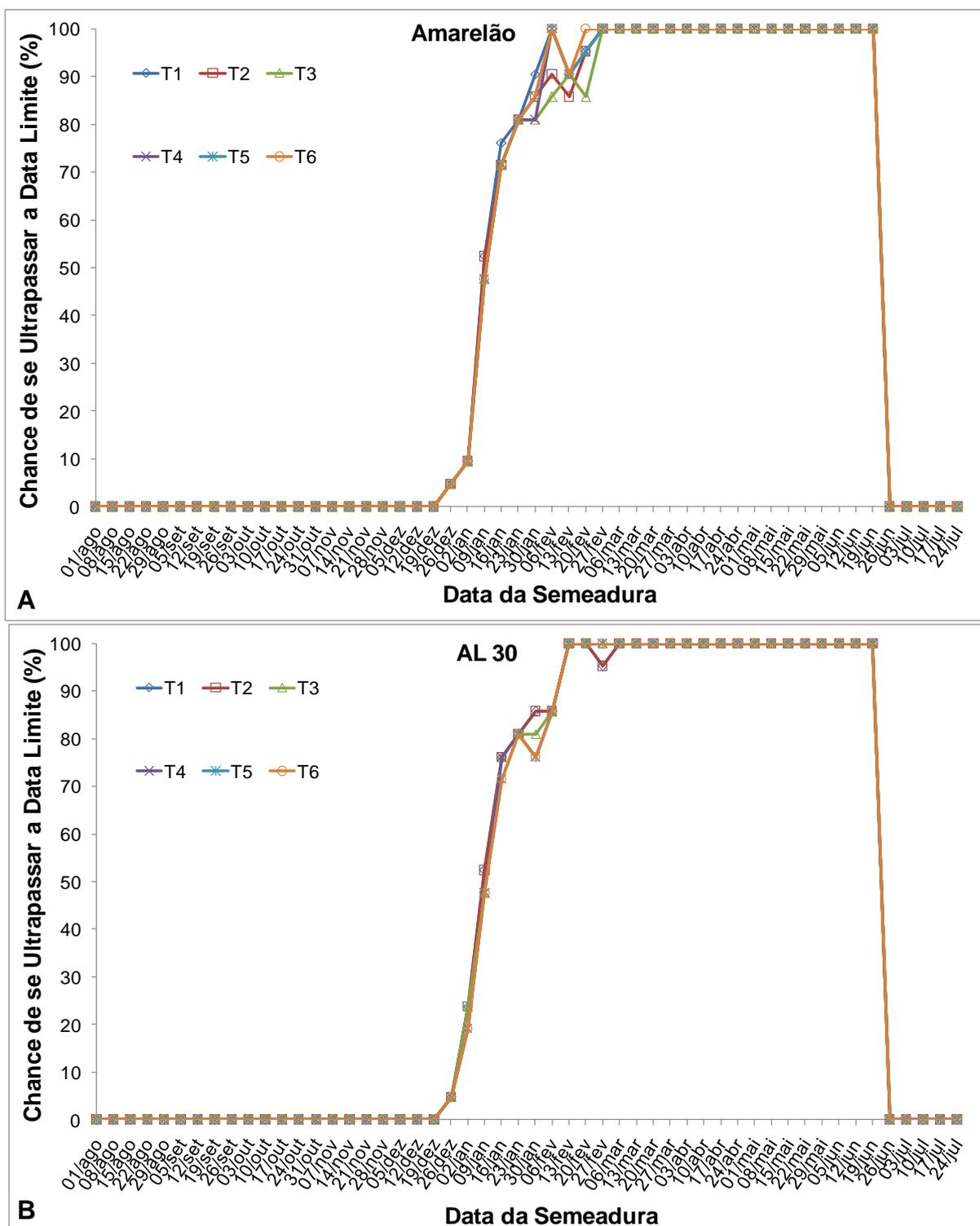
Avaliações estatísticas foram realizadas para a semeadura do dia 19 de dezembro, sendo essa a data da semeadura mais avançada onde não há chances de se ultrapassar a data limite de 21 de junho para a colheita de silagem na região. Desse modo, foi realizada uma análise de variância para a produtividade de grãos, fitomassa seca da parte aérea, energia por unidade de peso de fitomassa colhida (EPUWHB) e energia por unidade de área (EPUA). As médias foram comparadas pelo teste SCOTT e KNOTT a 5% de probabilidade.

## **Resultados e Discussão**

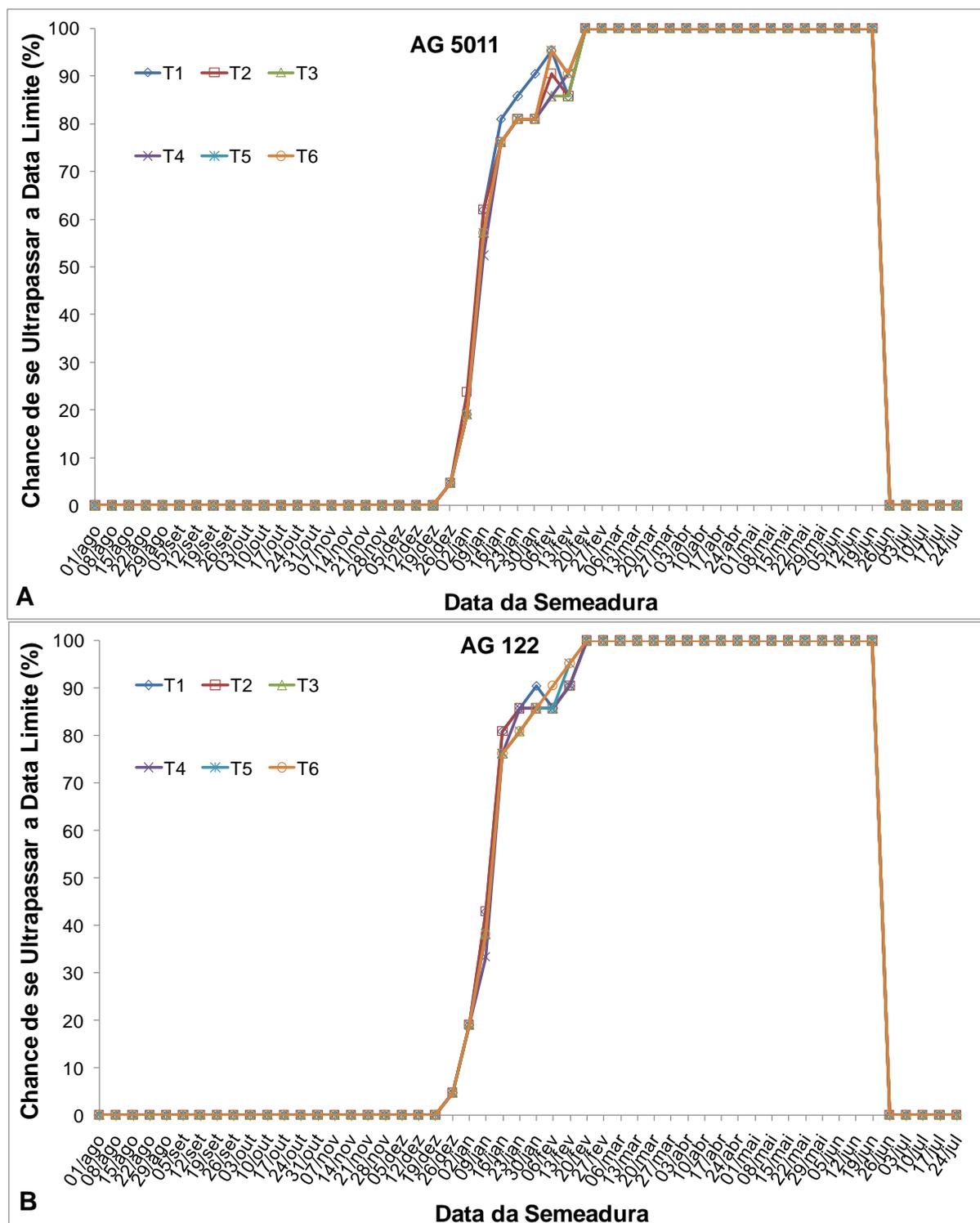
### *Semeadura*

Tomando-se como base a data limite de 21 de junho para a colheita da silagem de milho, observa-se que para todos os genótipos, independente da dose de N, as semeaduras simuladas entre os dias 26 de junho e 19 de dezembro não correm risco de ultrapassar a referida data. Já semeaduras realizadas entre 26 de dezembro a 19 de junho têm chances, variando entre 4,76 a 100%, de se ultrapassar a data limite para os quatro genótipos e todas as doses de N aplicadas (Figuras 2A e 2B, Figuras 3A e 3B). Os quatro genótipos mostraram resultados parecidos, sendo que a semeadura que pode ser feita mais tardiamente, sem chances de se ultrapassar a data limite, é a do dia 19 de dezembro.

As doses de N aplicadas (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) não influenciaram na chance de se ultrapassar a data limite para a colheita, uma vez que, estádios de desenvolvimento caracterizados por alterações morfológicas, como data da antese e maturação fisiológica, podem variar entre regiões, anos e datas de semeadura, em razão das condições meteorológicas, como fotoperíodo, temperatura do ar, chuva, radiação solar e umidade relativa (CRUZ et al., 2011).



**Figura 2** - Porcentagem de chance de se ultrapassar a data limite (21 de Junho) para colheita da silagem, para os genótipos Amarelão (A) e AL 30 (B), em diferentes datas de semeadura e doses de nitrogênio. T1 - Sem Adubação Mineral; T2 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 na semeadura; T3 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 na semeadura + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 Dias Após Semeadura (DAS); T4 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 na semeadura + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS; T5 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 na semeadura + 150 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS; T6 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 na semeadura + mais 200 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS.



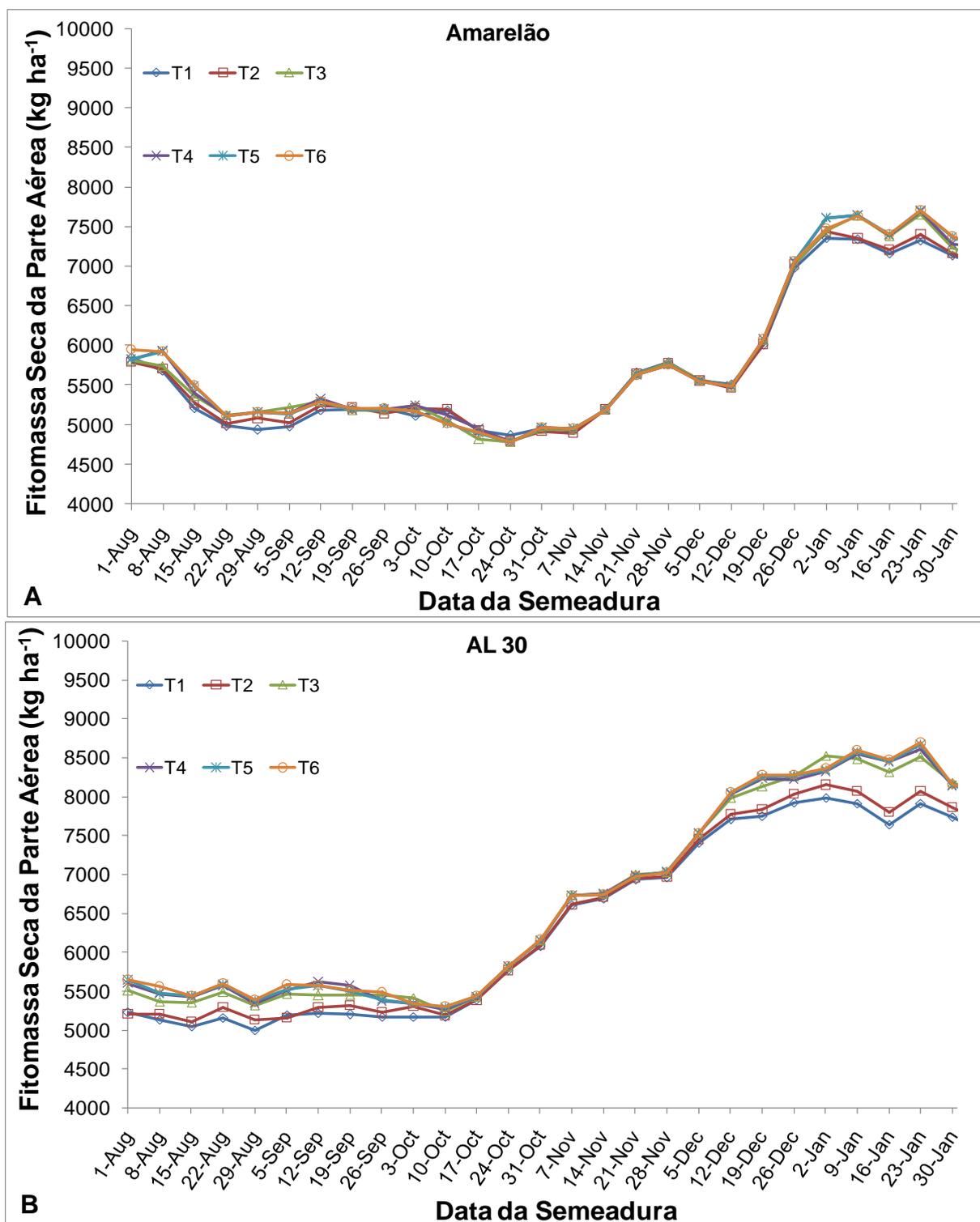
**Figura 3** - Porcentagem de chance de se ultrapassar a data limite (21 de Junho) para colheita da silagem, para os genótipos AG 5011 (A) e AG 122 (B), em diferentes datas de semeadura e doses de nitrogênio. T1 - Sem Adubação Mineral; T2 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 na semeadura; T3 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 na semeadura + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 Dias Após Semeadura (DAS); T4 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 na semeadura + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS; T5 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 na semeadura + 150 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS; T6 - 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 na semeadura + mais 200 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS.

Essas informações são importantes para o produtor, pois podem norteá-lo quanto à expectativa de produção, em termos de quantidade e qualidade de silagem, ao longo do ano, permitindo, assim, que se faça um planejamento. Para Cruz et al. (2011), a melhor época de semeadura do milho para silagem deve ser a mesma recomendada para o melhor desempenho do genótipo para produção de grãos. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (BRASIL, 2014), recomenda que, para os genótipos AL 30, AG 5011 e AG 122, no município de Canguçu, RS, as semeaduras ocorram entre 01 de outubro a 20 de janeiro. Outros fatores também devem ser considerados, como chuva na época da colheita, que pode afetar a qualidade da silagem e compactar o solo. No Rio Grande do Sul, o risco de geadas, também deve ser considerado, pois pode afetar diretamente a produtividade e qualidade da silagem.

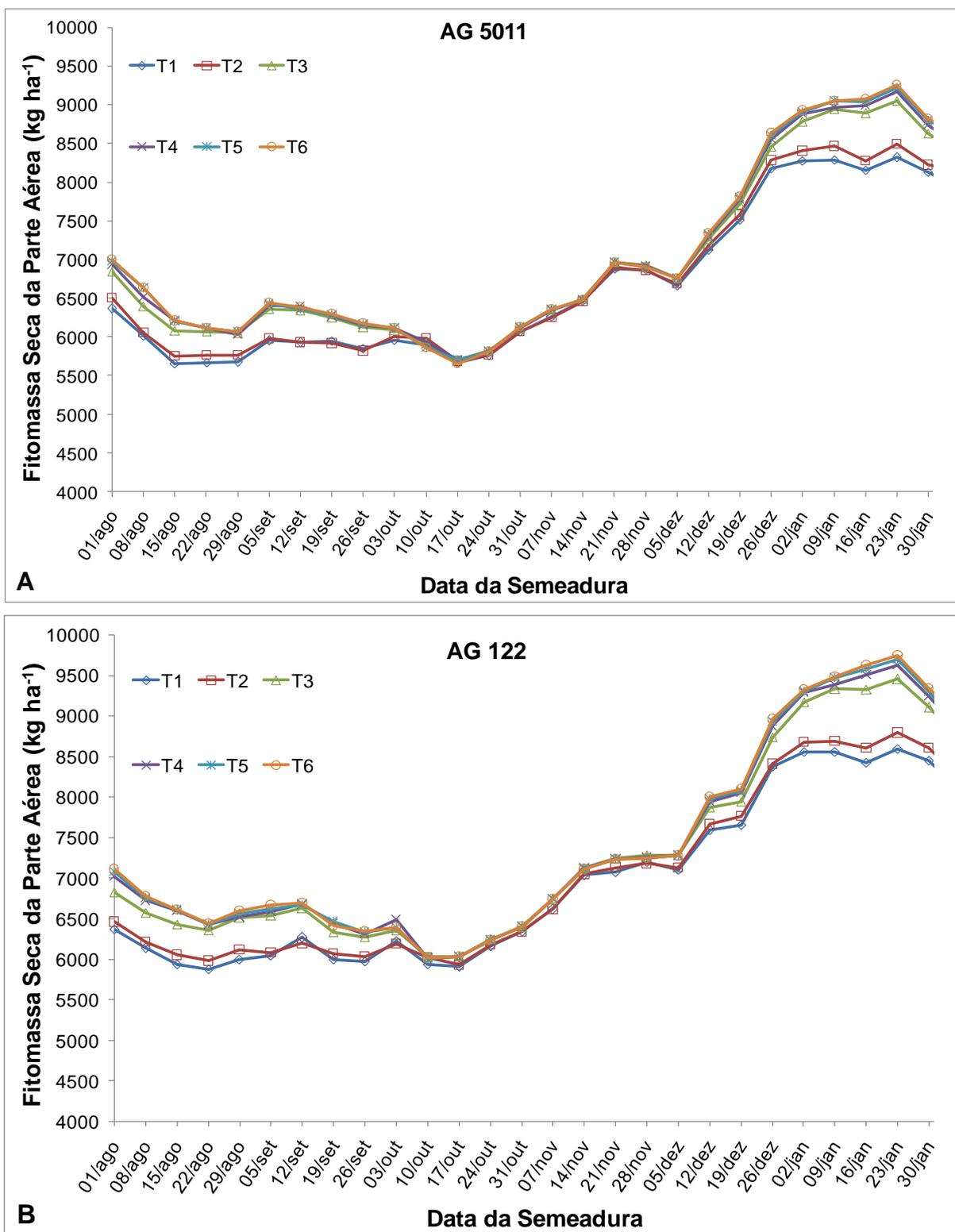
#### *Produtividade média e qualidade da silagem*

Observou-se variação na produtividade média de silagem em função da data de semeadura, para todos os genótipos. Para a variedade crioula Amarelão, a produtividade média de fitomassa seca da parte aérea, variou de 4.779 à 7.710 kg ha<sup>-1</sup>. Para a variedade AL 30, a variação foi de 4.995 à 8.976 kg ha<sup>-1</sup>. Para o híbrido AG 5011, de 5.654 à 9.522 kg ha<sup>-1</sup> e para o híbrido AG 122, de 5.879 à 10.428 kg ha<sup>-1</sup> (Figuras 4A e 4B, 5A e 5B).

As doses de N aplicadas (Tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6), não afetaram significativamente a produtividade de silagem da variedade crioula Amarelão, quando consideradas todas as datas de semeadura. Para esse genótipo, o aumento da produtividade de silagem do tratamento com a maior dose de N (T6) em relação ao tratamento sem adubação nitrogenada (T1) variou de 0,12 a 10,1%, considerando todas as datas de semeadura (Figuras 4A). Por outro lado, os genótipos AL 30, AG 5011 e AG 122, que apresentam um maior potencial genético para produção de fitomassa aérea e de grãos, responderam às diferentes doses de adubação nitrogenada, com aumento de produtividade variando de 0,6 a 23,7%, para o genótipo AL 30; de 0,06 à 21% para o genótipo AG 5011 e de 0,7 à 23,7%, para o genótipo AG 122, respectivamente (Figuras 4B, 5A e 5B).



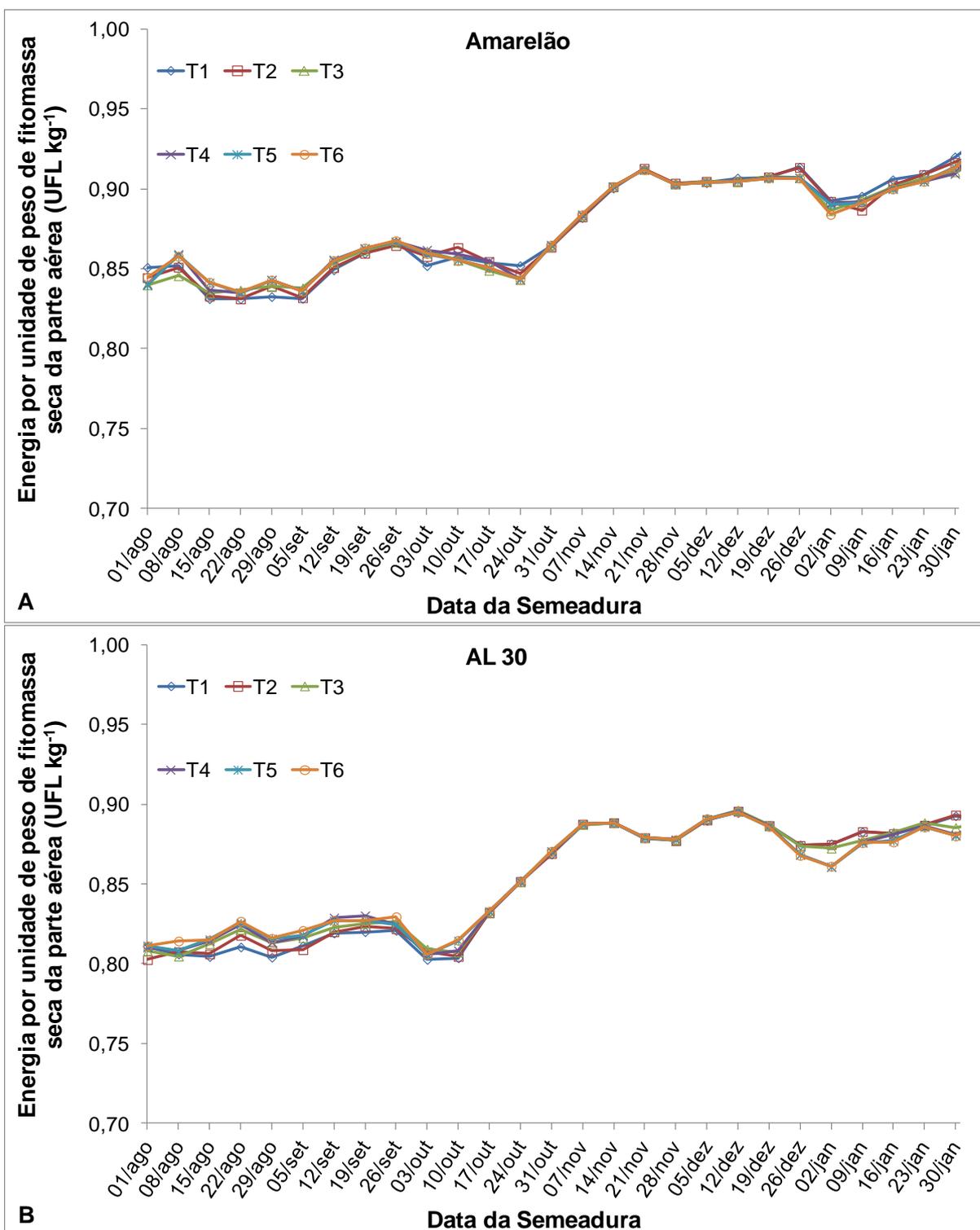
**Figura 4** – Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à fitomassa seca total da parte aérea – Silagem, para os genótipos: Amarelão (A) e AL 30 (B), para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.



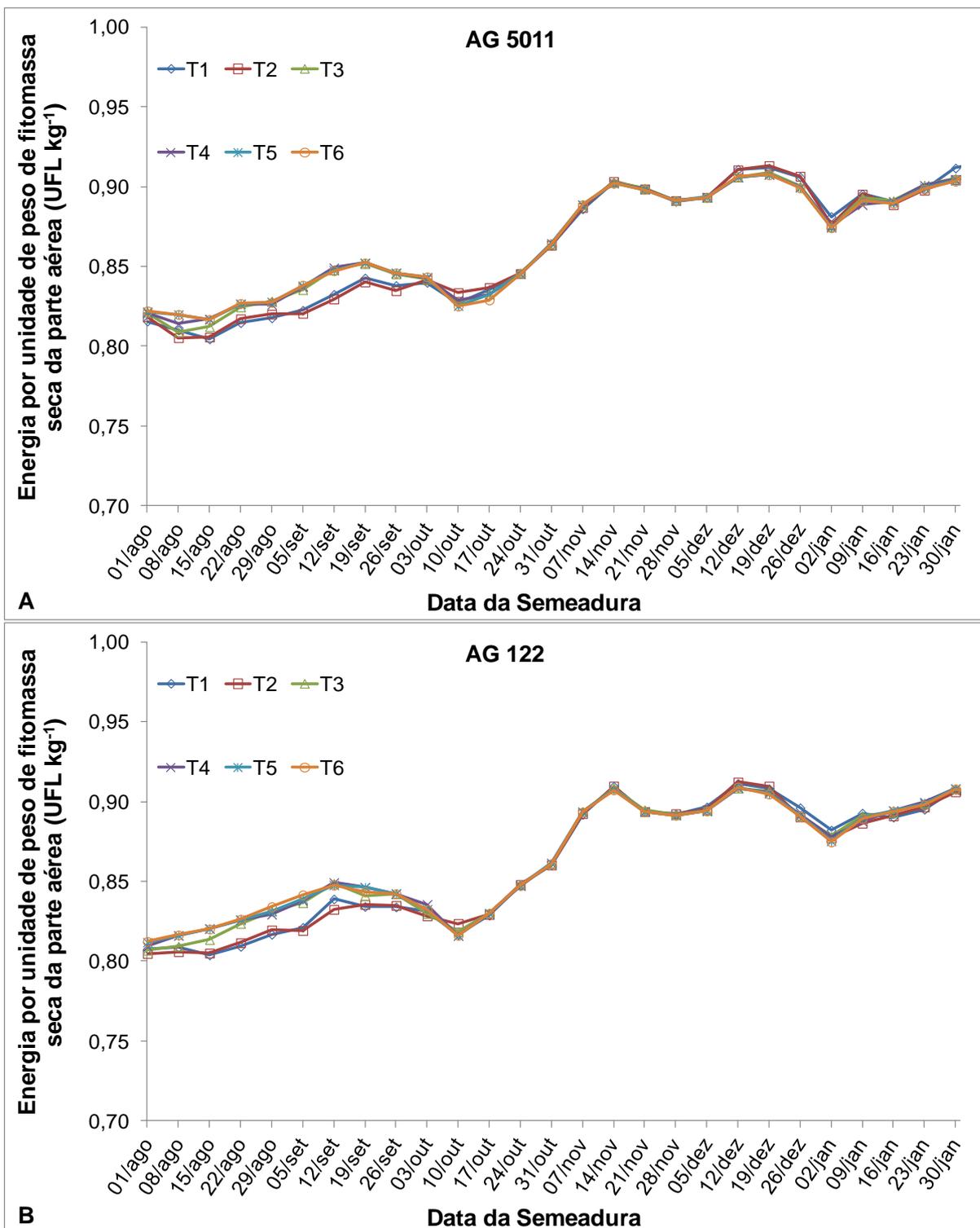
**Figura 5** – Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à fitomassa seca total da parte aérea – Silagem, para os genótipos: AG 5011 (A) e AG 122 (B), para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.

Na semeadura realizada em 19 de dezembro, data mais tardia para a semeadura do milho, sem chances de se ultrapassar a data limite de colheita, as produtividades de silagem de todos os genótipos não apresentaram grandes variações com a utilização de diferentes doses de N (Figuras 4A, 4B, 5A e 5B). Para o genótipo crioulo Amarelão a resposta ao uso de N foi muito pequena; sem a aplicação de N (T1) a produtividade média de silagem foi de 6.005 kg ha<sup>-1</sup> e com aplicação da dose máxima de N (T6) a produtividade foi de 6.079 kg ha<sup>-1</sup>, um aumento de apenas 1,68% (Figura 4A). Para a mesma data, o genótipo AL 30 foi a que obteve o maior ganho de produtividade com a aplicação de N. Quando comparado os tratamentos T1 e T6, houve um ganho de 6,7%, com produtividades de silagem de 7.752 e 8.271 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 4B). Portanto, para a semeadura de 19 de dezembro, a resposta dos genótipos ao uso de N foi limitada. Segundo França et al. (1994), a resposta da cultura do milho à adubação nitrogenada está associada ao histórico da área, sistema de cultivo, manejo e fertilidade do solo, intensidade e distribuição de chuvas, luminosidade e práticas culturais.

As maiores diferenças na qualidade energética da silagem EPUWHB, foram decorrentes da data da semeadura e não da dose de N utilizada (Figuras 6A, 6B, 7A e 7B).



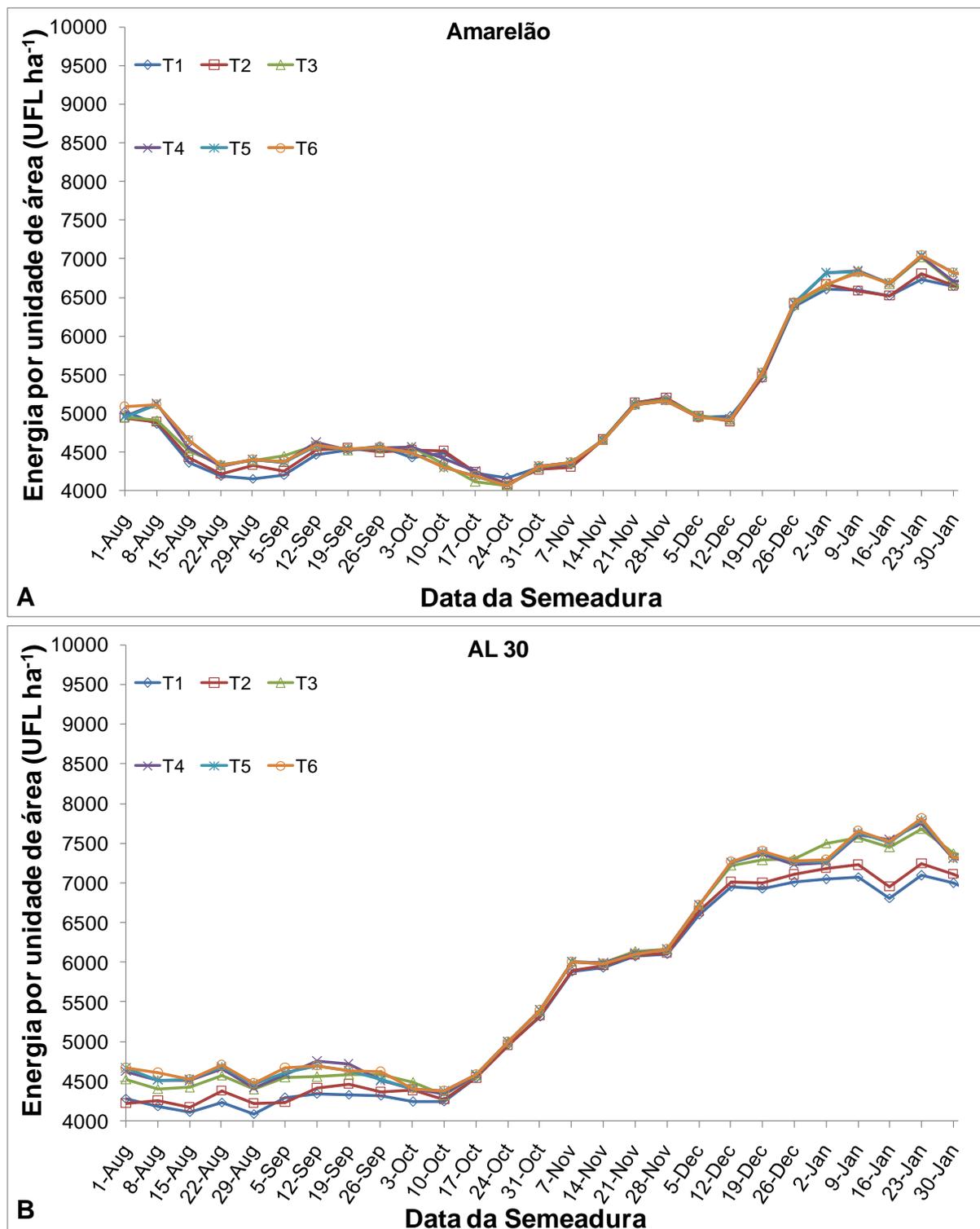
**Figura 6** – Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à energia por unidade de peso de fitomassa – EPUWHB, para os genótipos: Amarelão (A) e AL 30 (B), para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.



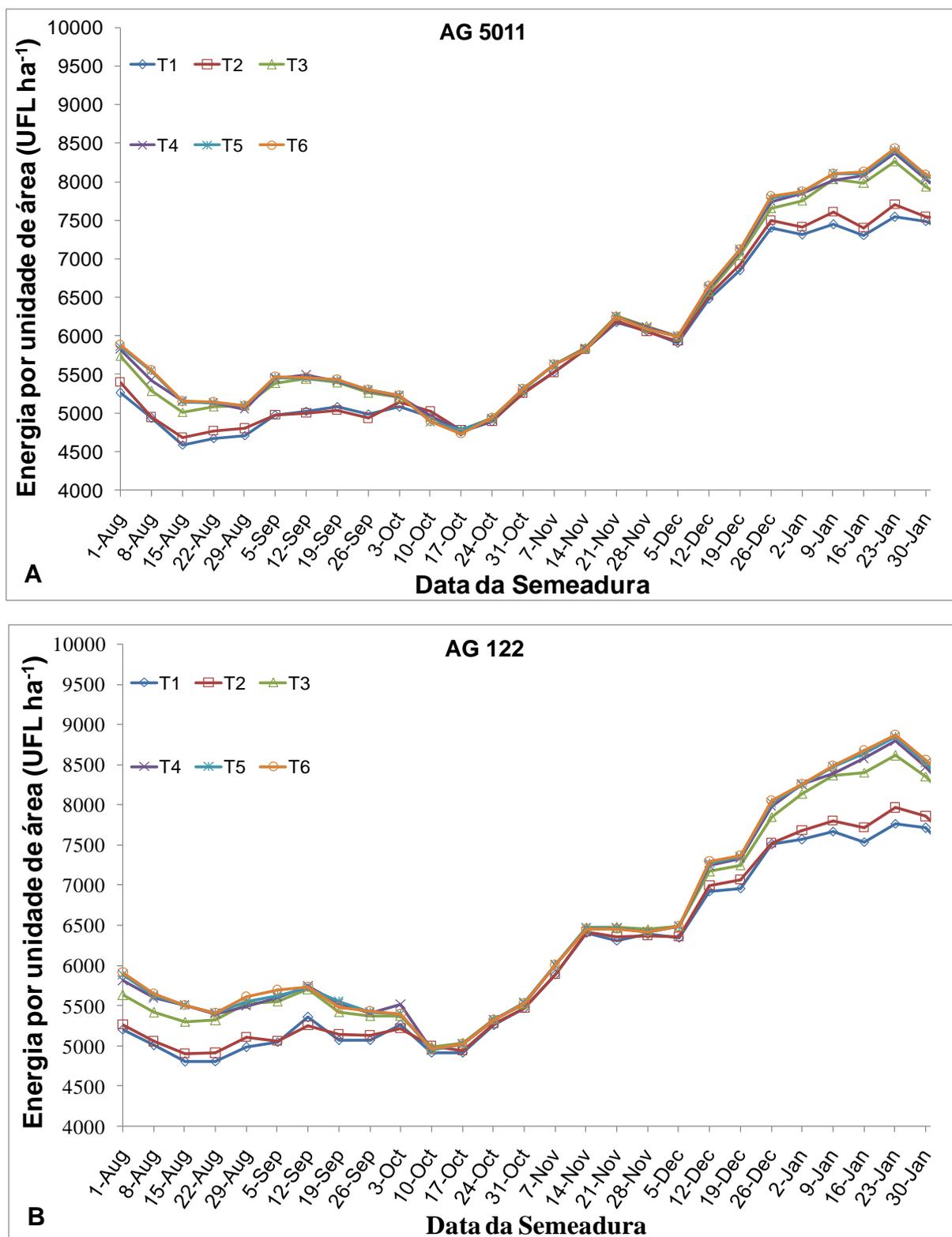
**Figura 7** – Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à energia por unidade de peso de fitomassa – EPUWHB, para os genótipos: AG 5011 (A) e AG 122 (B), para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.

Observou-se um ganho na qualidade energética da silagem em sementeiras realizadas nas datas indicadas pelo Zoneamento de Risco Climático (Brasil, 2014), que vai de 01 de outubro a 20 de janeiro, em comparação com sementeiras realizadas fora desta janela. Os valores de EPUWHB, neste período, foram 0,84 a 0,91; 0,80 a 0,90; 0,83 a 0,9; 0,82 a 0,91 UFL kg<sup>-1</sup>, para os genótipos Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, respectivamente (Figuras 6A, 6B, 7A e 7B). Na sementeira realizada no dia 19 de dezembro foram registrados valores de EPUWHB igual a 0,91 UFL kg<sup>-1</sup> para os genótipos Amarelão, AG 5011 e AG 122, independente da dose de N aplicada. Para a mesma data a variedade AL 30 apresentou valores de 0,89 UFL kg<sup>-1</sup>(Figuras 6A, 6B, 7A e 7B).

Da mesma forma, quando avaliada a energia por unidade de área (EPUA), as maiores diferenças entre os valores foram decorrentes da data de sementeira e não da dose de N aplicada. A partir de meados de outubro os valores de EPUA tenderam a aumentar até a sementeira de 23 de janeiro, independente da dose de N (T1, T2, T3, T4, T5 E T6) e do genótipo utilizado (Figuras 8A, 8B, 9A e 9B).



**Figura 8** – Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à energia por unidade de área – EPUA, para os genótipos: Amarelão (A) e AL 30, para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.



**Figura 9** – Resultados médios simulados para os 21 anos de dados meteorológicos, referentes à energia por unidade de área – EPUA, para os genótipos: AG 5011 (A) e AG 122 (B), para diferentes doses de nitrogênio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e diferentes datas de semeadura.

Os maiores valores médios de Energia por Unidade de Área (EPUA) para a semeadura do dia 19 de dezembro foram registrados para a variedade AL 30 e para os híbridos AG 5011 e AG 122, com valores de 6.933; 6.851 e 6.955 UFL kg<sup>-1</sup>, respectivamente, sem adição de N (T1), e de 7.404; 7.126; 7.364 UFL kg<sup>-1</sup> quando adicionada a maior dose de N (T6) (Figuras 8B, 9A e 9B). Menores valores foram registrados para a variedade crioula Amarelão com valores de 5.455 e 5.519 UFL kg<sup>-1</sup>, para T1 e T6, respectivamente (Figura 8A).

A semeadura de qualquer dos genótipos no mês de janeiro apresentou grande chance de se ultrapassar a data limite para a colheita de silagem (21 de junho) (Figuras 2A, 2B, 3A e 3B). Entretanto, a semeadura em janeiro foi a que apresentou os maiores valores médios, tanto de fitomassa seca da parte aérea, quanto de EPUA. Assim, estratégias de semeadura escalonadas podem ser desenvolvidas, onde uma parte da semeadura na área seria realizada até o dia 19 de dezembro, objetivando ter a silagem pronta no início do inverno, e outra parte da semeadura quando as condições meteorológicas favorecessem maior quantidade e qualidade de silagem.

#### *Avaliação das Épocas de Semeadura*

Analisando-se estatisticamente os dados simulados de 21 anos para a semeadura de 19 de dezembro, observou-se que, independente da dose de N aplicada, a produtividade de grãos, a produtividade de silagem e a quantidade de energia por unidade de área (EPUA) foram menores para a variedade crioula Amarelão (Tabelas 3, 4 e 6), não tendo sido observadas diferenças significativas, para essas variáveis, entre os demais genótipos AL 30, AG 5011 e AG 122.

Não se observou diferença significativa entre os genótipos e entre as doses de N aplicadas, quando se analisou a quantidade de energia por unidade de peso de fitomassa colhida (EPUWHB) (Tabela 5). Independente do genótipo e da dose de N empregada, a silagem produzida apresentou boa qualidade, com valores de EPUWHB iguais ou superiores a 0,91 UFL kg<sup>-1</sup>. Segundo Braga et al., (2008), valores de EPUWHB acima de 0,75 UFL kg<sup>-1</sup> são indicadores de silagem de boa qualidade.

**Tabela 3** – Produtividade de grãos para diferentes genótipos, e diferentes doses de nitrogênio, semeadura 19 de dezembro, em Canguçu, RS.

Produtividade de Grãos (kg ha <sup>-1</sup> )						
Genótipo	Dose de Nitrogênio Aplicada					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Amarelão	3.326 a <sup>(1)</sup>	3.339 a	3.355 a	3.347 a	3.338 a	3.340 a
AL 30	4.165 b	4.203 b	4.352 b	4.389 b	4.400 b	4.407 b
AG 5011	4.307 b	4.386 b	4.518 b	4.538 b	4.549 b	4.553 b
AG 122	4.386 b	4.482 b	4.701 b	4.755 b	4.755 b	4.757 b

<sup>(1)</sup>Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de  $p < 0,05$ .

**Tabela 4** - Produtividade de silagem para diferentes genótipos, e diferentes doses de nitrogênio, semeadura 19 de dezembro, em Canguçu, RS.

Produtividade de Silagem (kg ha <sup>-1</sup> )						
Genótipo	Dose Nitrogênio Aplicada					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Amarelão	7.012 a <sup>(1)</sup>	7.033 a	7.106 a	7.112 a	7.113 a	7.120 a
AL 30	8.851 b	8.970 b	9.375 b	9.492 b	9.530 b	9.550 b
AG 5011	8.765 b	8.873 b	9.046 b	9.129 b	9.158 b	9.169 b
AG 122	8.956 b	9.099 b	9.352 b	9.486 b	9.522 b	9.542 b

<sup>(1)</sup>Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de  $p < 0,05$ .

**Tabela 5**–Energia por unidade de peso de fitomassa (EPUWHB) para diferentes genótipos, e diferentes doses de nitrogênio, semeadura 19 de dezembro, em Canguçu, RS.

EPUWHB (UFL kg <sup>-1</sup> )						
Genótipo	Dose Nitrogênio Aplicada					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Amarelão	0,92 a <sup>(1)</sup>	0,92 a				
AL 30	0,91 a	0,91 a	0,91 a	0,91 a	0,91 a	0,91 a
AG 5011	0,93 a	0,93 a	0,93 a	0,93 a	0,93 a	0,93 a
AG 122	0,93 a	0,93 a	0,93 a	0,93 a	0,93 a	0,93 a

<sup>(1)</sup>Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de  $p < 0,05$ .

**Tabela 6** - Energia por unidade de área (EPUA) para diferentes genótipos, e diferentes doses de nitrogênio, semeadura 19 de dezembro, em Canguçu, RS.

Genótipo	EPUA (UFL kg <sup>-1</sup> )					
	Dose Nitrogênio Aplicada					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Amarelão	6.367 a <sup>(1)</sup>	6.389 a	6.456 a	6.457 a	6.453 a	6.460 a
AL 30	8.004 b	8.115 b	8.495 b	8.596 b	8.624 b	8.639 b
AG 5011	8.013 b	8.129 b	8.335 b	8.402 b	8.426 b	8.436 b
AG 122	8.154 b	8.305 b	8.613 b	8.728 b	8.752 b	8.766 b

<sup>(1)</sup>Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de  $p < 0,05$ .

#### *Produtividade de Silagem Relacionada à Sazonalidade Meteorológica*

Quando se avaliou a produtividade de silagem, para diferentes datas de semeadura e doses de adubação nitrogenada, observou-se uma grande variação inter-anual dos valores simulados, para todos os genótipos (Figuras 10A, 10B, 10C, 10D, 10E e 10F; 11A, 11B, 11C, 11D, 11E e 11F; 12A, 12B, 12C, 12D, 12E e 12F; 13A, 13B, 13C, 13D, 13E e 13F).

Na semeadura realizada no dia 19 de dezembro, para o genótipo crioulo, Amarelão, sem adubação nitrogenada (T1) e em condições meteorológicas desfavoráveis, em 25% dos anos a produtividade de silagem pode variar de 551 a 4.687 kg ha<sup>-1</sup>. Da mesma forma, para 25% dos anos, devido às condições meteorológicas favoráveis, a produtividade da silagem pode variar de 7.426 a 9.928 kg ha<sup>-1</sup>. Em 50% dos anos a produtividade pode variar entre 4.687 a 7.426 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 10A). Não se observou incrementos consideráveis da produtividade de silagem pelo uso de adubação nitrogenada. Mesmo com a maior taxa de N aplicada (T6), em 25% dos anos a produtividade de silagem pode variar de 532 a 4.630 kg ha<sup>-1</sup>; em anos com condições meteorológicas favoráveis pode variar de 7.536 a 10.271 kg ha<sup>-1</sup>, e em 50% dos anos a produtividade pode variar de 4.630 a 10.271 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 10F). O genótipo crioulo, Amarelão foi a que menos respondeu às diferentes doses de nitrogênio, com produtividades que podem variar entre 551 a 9.928 kg ha<sup>-1</sup>; 533 a 9.976kg ha<sup>-1</sup>; 534 a 10.189 kg ha<sup>-1</sup>; 533 a 10.231 kg ha<sup>-1</sup>; 533 a 10.246 kg ha<sup>-1</sup>; 533 a 10.271 kg ha<sup>-1</sup>, para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6, respectivamente (Figuras 10A, 10B, 10C, 10D, 10E e 10F).

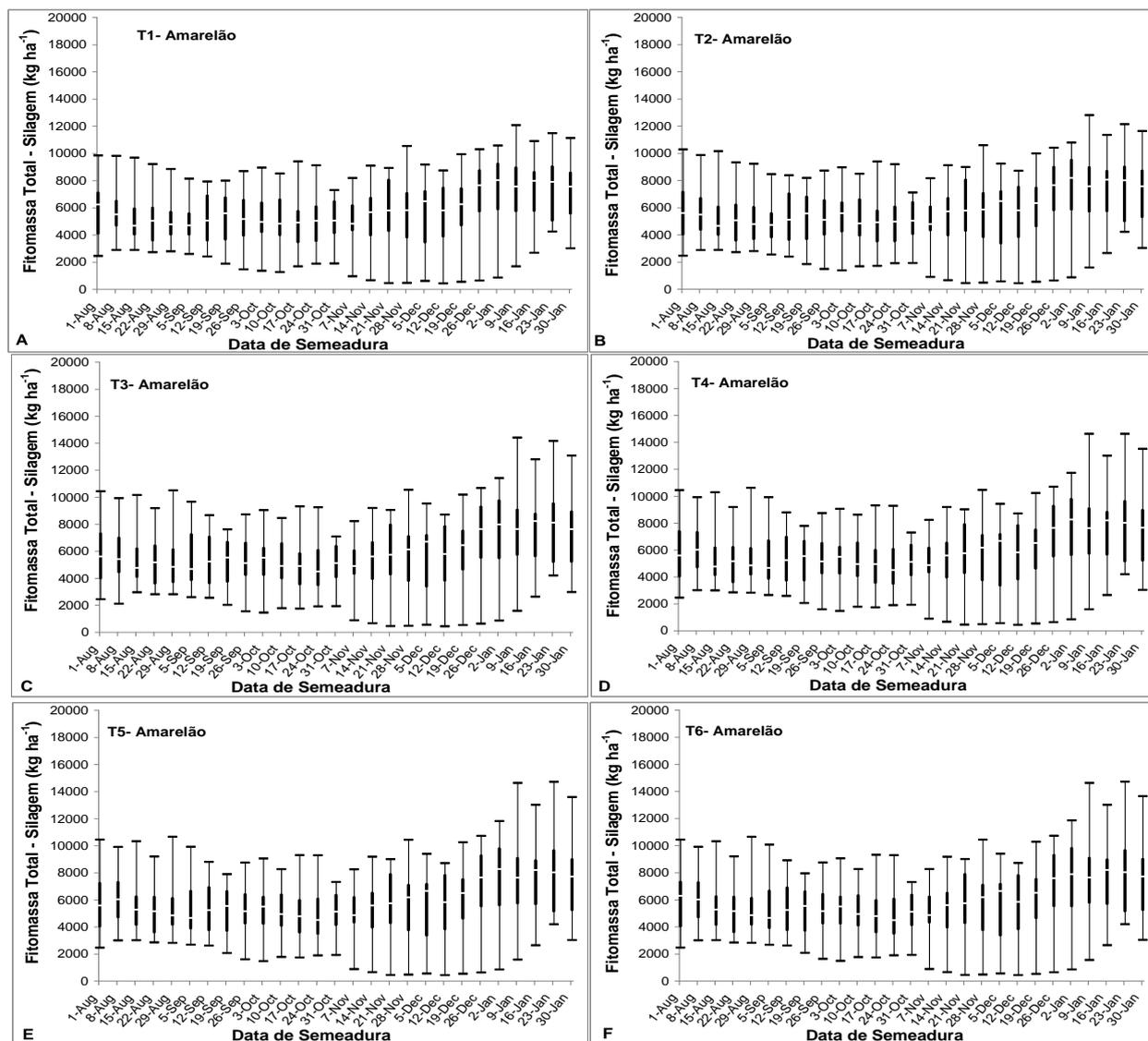
Para a mesma data de semeadura, o híbrido AG 122 apresentou o melhor desempenho com e sem o uso de N, em comparação com os demais genótipos. Para o tratamento T1, em 25% dos anos as produtividades podem variar entre 718 a 5.409 kg ha<sup>-1</sup>; da mesma maneira em outros 25% dos anos pode variar de 9.792 a 12.403 kg ha<sup>-1</sup>, e em 50% dos anos de 5.409 a 9.792 (Figura 13A). Para este genótipo observou-se alguma resposta a adubação nitrogenada, quando empregada a maior dose de N (T6). Em 25% dos anos, com condições meteorológicas restritivas, a produtividade pode variar de 721 a 5.336 kg ha<sup>-1</sup>; em outros 25%, sob melhores condições meteorológicas, a produtividade pode variar de 10.456 a 13.861 kg ha<sup>-1</sup>, e em 50% dos anos de 5.336 a 10.456 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 13F). Observa-se que, dado ao maior potencial genético do referido genótipo, o ganho em produtividade decorrente do uso de maiores doses de N ocorreu em 25% dos anos em que as condições meteorológicas foram favoráveis. Esse foi o genótipo que apresentou a melhor resposta à adubação nitrogenada para a semeadura do dia 19 de dezembro, com produtividades variando entre 718 a 12.403; 724 a 12.616; 721 a 13.286; 721 a 13.726; 721 a 13.847; 721 a 13.861, para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6, respectivamente (Figuras 13A, 13B, 13C, 13D, 13E e 13F).

Em relação ao híbrido AG 5011, para a semeadura realizada em 19 de dezembro, no tratamento T1, em 25% dos anos a produtividade pode variar entre 710 a 5.723 kg ha<sup>-1</sup>; da mesma maneira em outros 25% pode variar de 9.442 a 11.550 kg ha<sup>-1</sup>, e em 50% dos anos de 5.723 a 9.442 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 12A). Com as maiores doses de N (T6), em 25% dos anos, a produtividade pode variar entre 907 a 5.316 kg ha<sup>-1</sup>; em outros 25% pode variar de 9.896 a 13.046 kg ha<sup>-1</sup>; e em 50% dos anos de 5.316 a 9.896 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 12F). Respostas à adubação variaram entre 710 a 11.550; 706 a 11.885; 703 a 12.648; 703 a 12.848; 707 a 12.977; 707 a 13.046 kg ha<sup>-1</sup>, para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6, respectivamente (Figuras 12A, 12B, 12C, 12D, 12E e 12F).

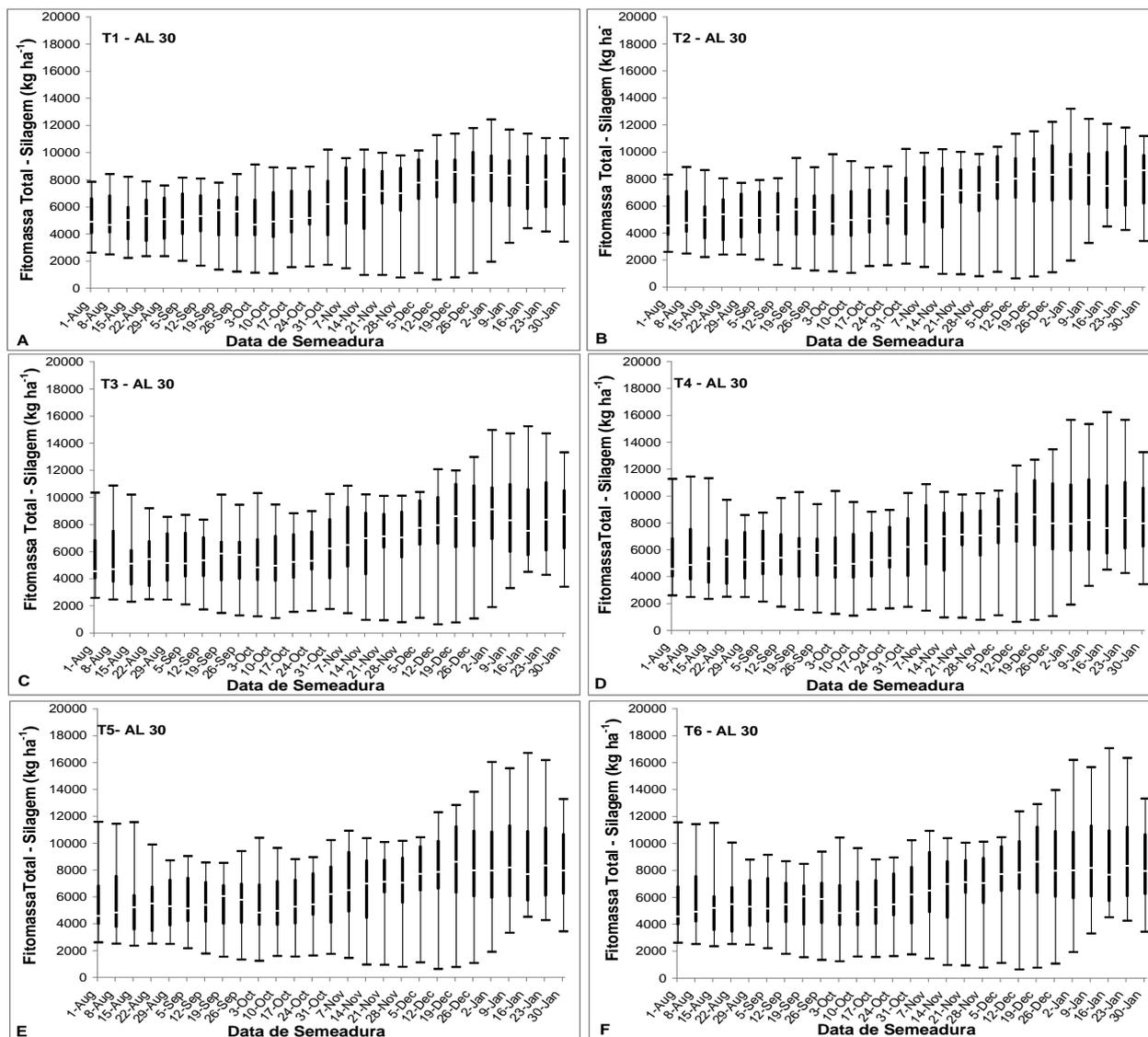
Em relação à variedade AL 30, com semeadura realizada em 19 de dezembro, no tratamento T1, em 25% dos anos a produtividade pode variar entre 801 a 6.293 kg ha<sup>-1</sup>; da mesma maneira em outros 25% pode variar de 9.492 a 11.386 kg ha<sup>-1</sup>, e em 50% dos anos de 6.293 a 9.492 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 11A). Com as maiores doses de N (T6) em 25% dos anos as produtividades podem variar entre 767 a 6.314 kg ha<sup>-1</sup>, em outros 25% podem variar de 11.240 a 12.918 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 11F), e em 50% dos anos de 6.314 a 11.240 kg ha<sup>-1</sup>. Respostas à adubação

variaram entre 801 a 11.386; 781 a 11.518; 773 a 11.000; 767 a 12.694; 767 a 12.836; 767 a 12.918, para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6, respectivamente (Figuras 11A, 11B, 11C, 11D, 11E e 11F).

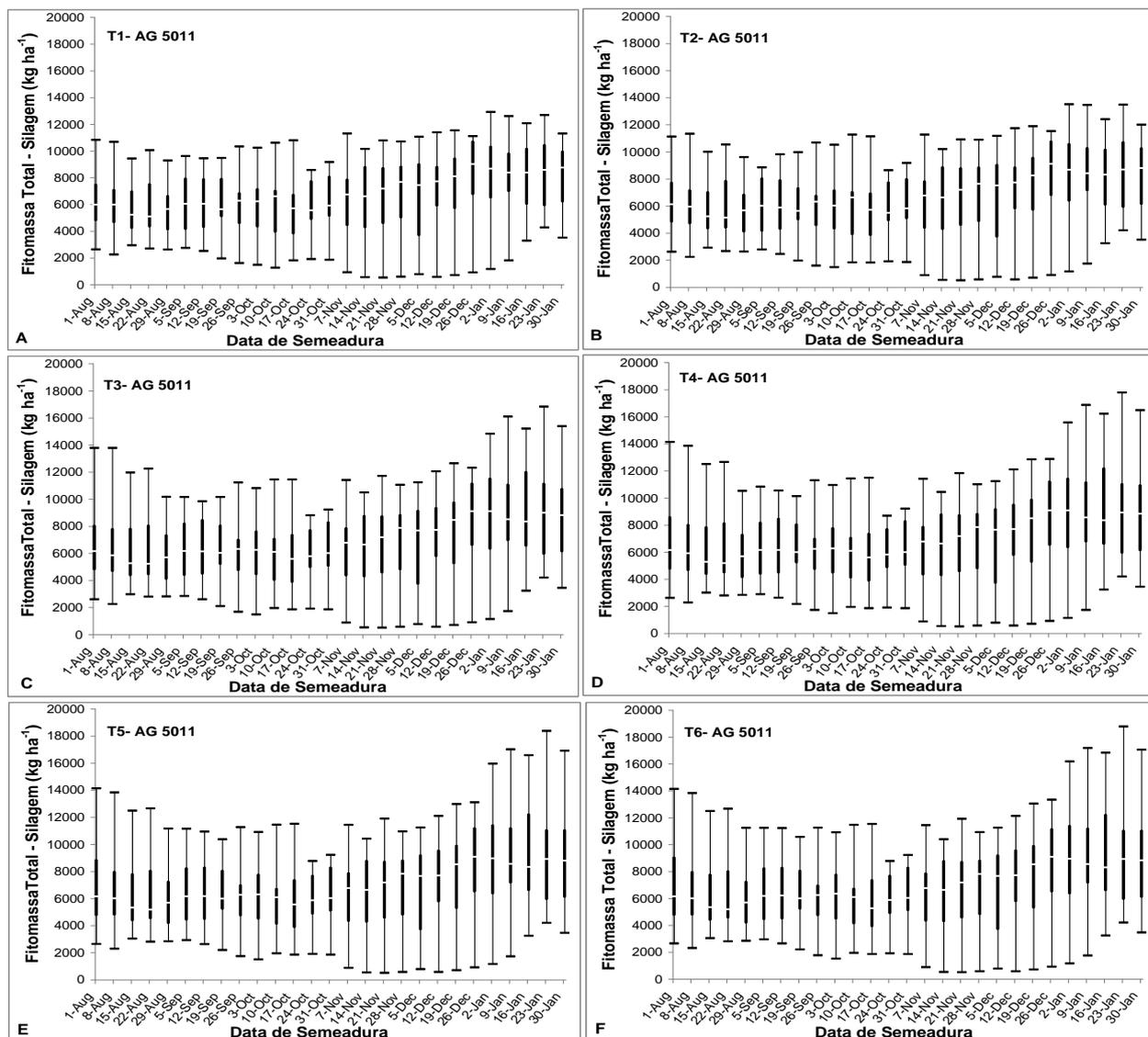
Pode-se notar que, para a data de semeadura de 19 de dezembro, doses mais elevadas de N não resultaram em aumento significativo de produtividade de silagem para todos os genótipos. Entretanto, semeaduras realizadas no mês de janeiro tiveram uma melhor resposta em relação à produtividade de silagem, devido às melhores condições meteorológicas desse período para o desenvolvimento da cultura do milho. Porém, com risco da silagem não estar pronta no período do inverno. As condições meteorológicas podem afetar drasticamente as estratégias de adubação nitrogenada. Uma combinação de baixa precipitação, ou ocorrência de veranico em fases consideradas críticas para a cultura do milho, baixa radiação solar incidente e altas temperaturas durante o dia e a noite são desfavoráveis para o crescimento e desenvolvimento da cultura, levando à baixa absorção de N e, conseqüentemente, a baixas produtividades. Por outro lado, uma combinação de precipitações adequadas, dias ensolarados e temperaturas amenas são condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento do milho, e tende a proporcionar uma melhor produtividade, principalmente quando o N não é um fator limitante (AMARAL et al., 2014a). Em todas as situações, a variabilidade na produtividade de silagem foi observada como consequência de interações entre os genótipos utilizados, entre as doses de nitrogênio e entre as condições meteorológicas.



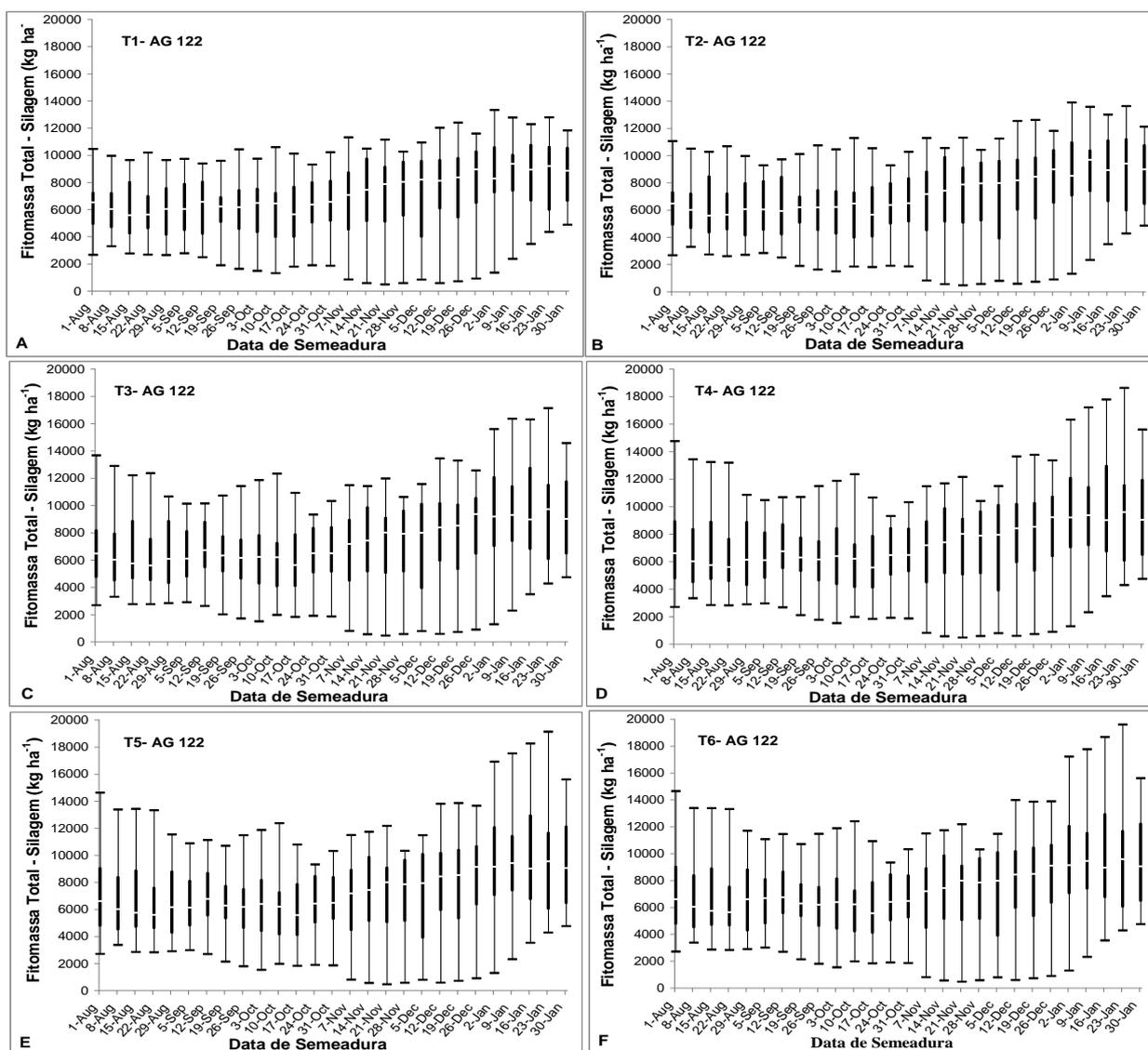
**Figura 10** - Variação da produção de silagem do milho crioulo Amareirão para as diferentes estratégias de fertilização, em diferentes datas de sementeira. (A) Sem Adubação Mineral (T1); (B) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na sementeira (T2); (C) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na sementeira + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 Dias Após Sementeira (DAS) (T3); (D) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na sementeira + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS (T4); (E) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na sementeira + 150 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS (T5); (F) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na sementeira + 200 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS (T6). A parte inferior da caixa indica o percentil 25, a linha na caixa indica a mediana, e o limite superior da caixa indica o percentil 75.



**Figura 11** - Variação da produção de silagem da variedade AL 30 para as diferentes estratégias de fertilização, em diferentes datas de semeadura. (A) Sem Adubação Mineral; (B) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura; (C) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 Dias Após Semeadura (DAS); (D) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS; (E) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + 150 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS; (F) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + 200 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS. A parte inferior da caixa indica o percentil 25, a linha na caixa indica a mediana, e o limite superior da caixa indica o percentil 75.



**Figura 12** - Variação da produção de silagem do híbrido simples AG 5011 para as diferentes estratégias de fertilização, em diferentes datas de semeadura. (A) Sem Adubação Mineral; (B) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura; (C) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 Dias Após Semeadura (DAS); (D) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS; (E) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + 150 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS; (F) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + mais 200 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS. A parte inferior da caixa indica o percentil 25, a linha na caixa indica a mediana, e o limite superior da caixa indica o percentil 75.



**Figura 13** - Variação da produção de silagem do híbrido triplo AG 122 para as diferentes estratégias de fertilização, em diferentes datas de semeadura. (A) Sem Adubação Mineral; (B) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura; (C) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 Dias Após Semeadura (DAS); (D) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS; (E) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + 150 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS; (F) 200 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 na semeadura + mais 200 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS. A parte inferior da caixa indica o percentil 25, a linha na caixa indica a mediana, e o limite superior da caixa indica o percentil 75.

## Conclusões

1. Para todos os genótipos e doses de nitrogênio utilizadas, o período de semeadura do milho para produção de silagem em Canguçu, RS, vai de 26 de junho a 19 de dezembro; semeaduras realizadas fora deste período apresentam chances acima de 10% de que a colheita ocorra após 21 de junho, considerada a data-limite para a colheita de silagem na região.

2. Para semeaduras realizadas no dia 19 de dezembro a variedade crioula *Amarelão* apresentou os menores valores médios de produtividade de silagem, de energia por unidade de peso de biomassa e de energia por unidade de área.

3. Na janela de semeadura do dia 26 de junho a 19 de dezembro, doses mais elevadas de adubação nitrogenada não são recomendadas, devido ao alto risco de não haver ganho de produtividade e de qualidade da silagem produzida.

## **CONCLUSÕES GERAIS**

Os resultados obtidos para as condições edafoclimáticas do estudo, permitem aplicar as informações geradas para a melhoria do manejo do cultivo do milho, para os agricultores familiares da região de Canguçu, RS.

O modelo CSM-CERES-Maize simulou satisfatoriamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de diferentes genótipos utilizados tanto para grão como para produção de silagem na região de Pelotas e Canguçu, RS, podendo assim ser utilizado para simulação de cenários de manejo, visando uma melhoria das condições de cultivo do milho para produtores familiares da região.

O modelo mostrou ser uma excelente ferramenta para a determinação de janelas de semeadura, tanto para a produtividade de grãos, como para a produtividade de silagem, utilizando-se dados meteorológicos da região, combinados as características genéticas de cada genótipo, de solo e ao manejo utilizado. Com esse procedimento foi possível obter janelas de semeadura, onde o risco de quebra na produtividade, associado às condições meteorológicas, podem ser minimizados.

## REFERÊNCIAS

AGRICULTURA familiar: linha de pesquisa. 2006. Disponível em:  
<[http://www.ufv.br/dft/milho/agricultura\\_familiar.htm](http://www.ufv.br/dft/milho/agricultura_familiar.htm)>. Acesso em: 05 jan. 2012

ALBUQUERQUE, P. E. P., ANDRADE, C. L. T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 10).

ALMEIDA FILHO, S.L.; FONSECA, D.M.; GARCIA, R. Características agronômicas de cultivares de milho (*Zeamays L.*) e qualidade dos componentes e da silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.1, p.7-13, 1999.

ALVES, M. E. B.; PAIXAO, J. S.; ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; STEIDLE NETO, A. J.; SILVA, D. F.; RODRIGUES, C. C. F. Épocas de semeadura de milho em Minas Gerais: Utilização do modelo DSSAT para análise do risco climático. In: **XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 2012, Águas de Lindoia. Diversidade e Inovações na Era dos Transgênicos. p. 3591-3597, 2012.

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; HOOGENBOOM, G ; SILVA, D. F.; GARCIA, A. G. Y ; NOCE, M. A.. Nitrogen management strategies for maize production systems: Experimental data and crop modeling. **International Journal of Plant Production**, v. 9, p. 51-74, 2015a.

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C.; GARCIA, A. G. Y.; SILVA, D. F.; ALBERNAZ, W. M.; HOOGENBOOM, G . Nitrogen management strategies for smallholder maize production systems: Yield and profitability variability. **International Journal of Plant Production**, v. 9, p. 75-98, 2015b.

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; LIMA, A. C. R. ; SOUZA, I. R. P. ; SOUZA, A. A. C. ; TEIXEIRA, T. C. ; PAIXAO, J. S. . Análise da Sensibilidade da Cultura do Milho às Mudanças Climáticas Empregando Modelos de Simulação; Resposta às alterações na taxa de radiação solar. In: **XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 2014, Salvador, BA. XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2014a.

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; SOUZA, I. R. P.; LIMA, A. C. R.; SOUZA, A. A. C.; TEIXEIRA, T. C. Simulação dos impactos da concentração de dióxido de carbono, morfologia radicular e palhada na produtividade do milho. In: **XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 2014, Salvador, BA. XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2014b.

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; ALVES, M. E. B.; SILVA, D. F. Applying CSM-CERE-Maize to define a sowing window for irrigated maize crop The Riacho's Farm case study. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, p. 38-53, 2011.

AMARAL, T.A.; ANDRADE, C.L.T.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, D.F.; SANTANA, C.B.; MOURA, B.F.; CASTRO, L.A. **Metodologia para o estabelecimento do período de semeadura de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 88). 2009,13p.

ANDRADE, C.L.T., AMARAL, T.A., DUARTE, J.O., GARCIA, J.C., SILVA, D.F., MARTINS, P.C. Simulated yield and net return of a maize crop fertilized with different sources and rates of nitrogen. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, p. 254-267, 2012.

ANDRADE, C. de L. T. de; AMARAL, T. A.; ALVES, M. E. B.; SILVA, D. F. Temporal variability of the water requirement and productivity for irrigated maize crop. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 54-60, 2011.

ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F.; HEINEMANN, A. B.; GARCIA Y GARCIA, A.; HOOGENBOOM, G.; MAGALHÃES, P. C.; ARAUJO, 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. Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável: resumos. Belo Horizonte: SBA; Viçosa: UFV; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009a. 1 CD-ROM.

ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F.; GARCIA Y GARCIA, A.; HOOGENBOOM, G.; GUIMARÃES, D. P.; OLIVEIRA, A. C.; SANTANA, C. B. Utilização do modelo CERES-maize como ferramenta na definição de estratégias de semeadura de milho: 2 - Sistema de produção irrigado. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 16., 2009, Belo Horizonte. Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável: resumos. Belo Horizonte: SBA; Viçosa: UFV; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009b. 1 CD-ROM.

ANGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. *Quart. Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society*, v. 50, p. 121-125, 1924.

ANOTHAI, J.; SOLER, C.M.T.; GREEN, A.; TROUT, T.J.; HOOGENBOOM, G.. Evaluation of two evapotranspiration approaches simulated with the CSM–CERES–Maize model under different irrigation strategies and the impact on maize growth, development and soil moisture content for semi-arid conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 176, p. 64-76, 2013.

ARAÚJO, P. M.; NASS, L. L. Caracterização e avaliação de populações de milho crioulo. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 589-593, 2002.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003, 110p.

BONILLA, JOSÉ A. **Fundamentos da Agricultura Ecológica: Sobrevivência e Qualidade de Vida**. São Paulo: Nobel, 1992.

BOOGES, W.G.; RITCHIE, J.T. Economic and risk analysis of irrigation decisions in humid regions. **Journal Production Agricultural**, v.1, n.2, p.116-122, 1988.

BOOTE, K.J; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crops models. **Agronomy Journal**, v. 88, p.704-716, 1996.

BOULLON, D.R; RODRÍGUEZ, G.R.; MAGRÍN G.O. Aplicación de CERES-Maize a la estimación de rendimientos regionales. In: **REUNIÓN ARGENTINA DE FISIOLÓGÍA VEGETAL**, 21., Argentina. Actas. Argentina: INTA Castelar, p.168-170, 1996.

BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. **Soil Science**, v. 23, p. 343-353, 1927.

BRAGA, R. P.; CARDOSO, M. J.; COELHO, J. P. Crop model based decision support for maize (*Zea mays* L.) silage production in Portugal. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 3, p. 224-233, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimentos. **Zoneamento agrícola de risco climático**. Disponível em: <[http:// www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola](http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola)>. Acesso em: 24 fev. 2014.

CARVALHO, H. W. L.; LEAL, M. L. S.; CARDOSO, M. J.; SANTOS, M. X.; CARVALHO, B. C. L.; TABOS, J. N.; LIRA, M. A.; ALBUQUERQUE, M. M. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares e híbridos de milho no Nordeste brasileiro no ano agrícola de 1998. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 637-644, abr. 2001.

CASTELÁN-ORTEGA, O.A; FAWCETT, R.H; ARRIAGA-JORDAN, C; HERRERO, M. A decision support system for small holder campesino maize-cattle production systems of the Toluca Valley in Central Mexico. Part I – Integrating biological and 118 socio-economic models into holistic system. **Agricultural Systems**, v. 75, p.1-21, 2003.

CATI. **Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, São Paulo, SP**. 2014. Disponível em: < <http://www.cati.sp.gov.br/new/produtosservicos.php?ID=11>>. Acesso em: 01 out. 2014.

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.

COX, W.J., Cherney, J.H., Cherney, D.J.R., Pardee, W.D. Forage quality and harvest index of corn hybrids under different growing conditions. **Agronomy Journal**, v. 86 (2), p. 277–282, 1994.

CRUZ, J. C. PEREIRA FILHO, I. A. SILVA, G. H. da. **Mais de 170 cultivares transgênicas são disponibilizadas no mercado de sementes do Brasil para a safra 2011/12**. 2011. Disponível em:  
<<http://www.apps.agr.br/artigos/?INFOCOD=32>>. Acesso em: 22 dez. 2011.

CRUZ, J.C.; KONZEN, E.A.; PEREIRA FILHO, I.A.; MARRIEL, I.E.; CRUZ, I.; DUARTE, J.O.; OLIVEIRA, M.F.; ALVARENGA, R.C. **Produção de milho orgânico na agricultura familiar**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 81) 2006, 17p.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; PEREIRA, F. T. F.; ALVARENGA, R. C. Produção orgânica de grãos e silagem de milho. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA**, 2.; SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE AGROECOLOGIA, 5.; SEMINARIO ESTADUAL SOBRE AGROECOLOGIA, 6., 2004, Porto Alegre. Agrobiodiversidade: base para sociedades sustentáveis - anais... [Brasília, DF]: Embrapa; Porto Alegre: Emater-RS, 2004. CD-ROM.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S.; FERREIRA, J. J. **Produção e Utilização de Silagem de Milho e Sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2001. 544 p.

DeJONGE, K. C.; ASCOUGH II, J. C.; AHMADI, M.; ANDALES, A. A.; ARABI, M. Global sensitivity and uncertainty analysis of a dynamic agroecosystem model under different irrigation treatments. **Ecological Modelling**, v. 231, p. 113-125, 2012.

EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013. 353p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

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

FRANÇA, G. E.; COELHO, A. M.; BAHIA FILHO, A. F. C. Parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho irrigado. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 10., 1994, Goiânia, GO. *Resumos...* Goiânia: ABMS/EMGOPA/CNPMS-EMBRAPA/UFG/EMATER-GO, 1994. p.101.

GEDANKEN, A. **Utilização do modelo Ceres-Maize na avaliação de estratégias de irrigação na cultura do milho em duas regiões de Minas Gerais**. Viçosa, 1998. 74f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1998.

HALLAL, M. O. C.; SCHÖFFEL, E. R.; BRIXNER, G. F.; RADÜNZ, A. L. Ajuste de uma Equação de Estimativa da Evapotranspiração de Referência para Pelotas – RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19 (2), 147-156, 2014.

HAVILAH, E.J.; KAISER, A.G.; NICOL, H. Use of a kernel milkline score to determine stage of maturity in maize crops harvested for silage. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 35 (6), p. 739–743, 1995.

HE, J.; DUKESB, M. D.; HOCHMUTHC, G. J.; JONESB, J. W.; GRAHAMD, W. D. Identifying irrigation and nitrogen best management practices for sweet corn production on sandy soils using CERES-Maize model. **Agricultural Water Management**, v.109, p. 61- 70, 2012.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTE, C. H.; BOOTE, K. J.; HUNT, L. A.; SINGH, U.; LIZASO, J. L.; WHITE, J. W.; URYASEV, O.; ROYCE, F. S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A. J.; TSUJI, G. Y. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer: version 4.5.1.013**. Honolulu: University of Hawaii, 2013. 1 CD-ROM.

IBGE. 2015. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 26 fev. 2015.

IBGE. 2014. **Sistema IBGE de Recuperação Automática–SIDRA**: tabela 839 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida e rendimento médio de milho, 1ª e 2ª safras. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=839&z=t&o=11>. Acesso em: 05 mai. 2014.

IBGE. **Censo Agropecuário**. 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

ICASA. **International Consortium for Agricultural Systems Applications. DSSAT Software**. 2011. Disponível em: <<http://www.icasa.net/dssat/index.html>>. Acesso em: 15 de out. 2014.

INCRA. **INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. Novo retrato da agricultura familiar – o Brasil redescoberto. Projeto de Cooperação Técnica Brasília: INCRA/FAO**. 2000. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/fao/>>. Acesso em: 21 jan. 2014.

JAGTAP, S. S.; ALIBI, R. T.; ADELEYE, O. The influence of maize density on resource use and productivity: an experimental and simulation study. **African Crop Science Journal**, v. 6. n. 3, p. 259-272, 1998.

JAME, Y. W.; CURTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 76, p.9-19, 1996.

JAMIESON, P.D.; PORTER, J.R.; WILSON, D.R. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. **Field Crops Research**, v.27, p.337-350, 1991.

JONES, J. W.; MAKOWSKI, D.; WALLACH, D. Introduction to section II. In: WALLACH, D.; MAKOWSKI, D.; JONES, J. W. Working with dynamic crop models: evaluation, analysis, parameterization and applications. **Amsterdam: Elsevier**, p. 251-256, 2006.

JONES, J.W., HOOGENBOOM, G., PORTER, C.H., BOOTE, K.J., BATCHELOR, W.D., HUNT, L.A., WILKENS, P.W., SINGH, U., GIJSMAN, A.J., RITCHIE, J.T. DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v.18, p. 235-265, 2003.

JONES, J; TSUJI, G; HOOGENBOOM, G; HUNT, L; THORNTON, P; WILKENS, P; IMAMURA, D; BOWEN, W; SINGH, U. **Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v.3**. In: TSUJI, G; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. (Ed.) International benchmark sites network for agrotechnology transfer: a system approach to research and decision making. Kluwer Academic Press, 1996.

JONES, J.W.; KINIRY, J.R. **CERES-Maize: a simulation model of maize growth and development**. **College Station**: Texas A&M University Press, 1986. 194p.

KINIRY, J.R.; BONHOMME, R. Predicting maize phenology, In: **HODGES, T. (Ed.) Predicting crop phenology**. Boca Raton: CRC Press, 1991. cap.11, p.115-131.

KLUTE, A. Physical and mineralogical methods. In: **A. Klute (ed.) Methods of soil analysis**. Part 1. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI, 1986.

LIU, H. L., YANG, J. Y., DRURY, C. A., REYNOLDS, W. D., TAN, C. S., BAI, Y. L., HOOGENBOOM, G. Using the DSSAT-CERES-Maize model to simulate crop yield

and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production.

**Nutrientcycling in agroecosystems**, v. 89(3), p. 313-328, 2011.

LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, v.7, p.51-73, 1991.

LOBELL, D. B.; BURKE, M. B. On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 11, p. 1443-1452, 2010

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.3, p.85-92, 1995.

MATZENAUER, R.; FONTANA, D.C. Relação entre rendimento de grãos e altura de chuva em diferentes períodos de desenvolvimento do milho. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 5., 1987, Belém. Coletânea de trabalhos. Belém: SBA, 1987. p.3-6.

MEHLICH, A. Determination of cation and anion exchange properties of soils. **Soil Science**, v. 66, p. 429-445, 1948.

MITTELMANN, A.; SOBRINHO, F. S.; OLIVEIRA, J. S.; FERNANDES, S. B. V.; LAJÚS, C. A.; MIRANDA, M.; ZANATTA, J. C.; MOLETTA, J. L. Avaliação de híbridos comerciais de milho para utilização como silagem na Região Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.35, n.3, p.684-690, 2005.

MORRIES, P. A century of Kjeldahl (1883-1983). **Journal of the Association of Public Analysts**, v. 21, p. 53-58, 1983.

PAIXAO, J. S.; ANDRADE, C. L. T.; GARCIA, A. G. Y; AMARAL, T. A.; STEIDLE NETO, A. J.; MARIN, F. R.; ALVES, M. E. B.; SILVA, D. F.; RODRIGUES, C. C. F.; TEIXEIRA, T. C. An Alternative Approach to the Actual Brazilian Maize Crop Zoning.

In: **ASABE Annual International Meeting**, 2013, Kansas City. ASABE Annual International Meeting, 2013.

PARFITT, J. M. B. **Milho, sorgo e soja em área de arroz irrigado, na Região da Campanha do Rio Grande do Sul: resultados de pesquisa das safras 1999/00, 2000/01 e 2001/02**. Pelotas, Embrapa Clima Temperado. (Embrapa Clima Temperado, Documentos 97). 2002. 82p

PEREIRA FILHO, I. A., JC CRUZ. **Plantio, espaçamento, densidade, quantidade de sementes**. 2010. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/865422/1/Plantioespacamento.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2013.

PEREIRA, A. M. D. A. R., VON PINHO, R. G., PAGLIS, C. M., PEREIRA, J. L. D. A. R., ALTOÉ, T. F. Eficiência do modelo Ceres-Maize na simulação do desempenho de híbridos de milho. **Revista Ceres**, v. 57(4), p. 486-493, 2010.

PORTER, C. H., JONES, J.W., ADIKU, S., GIJSMAN, A. J., GARGIULO, O. & NAAB, J. B. Modeling organic carbon and carbon-mediated soil processes in DSSAT V4.5. **Operational Research**, v.10, p. 274–278, 2009.

PRESCOTT, J. A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transactions Royal Society of South Australia**, Adelaide, v. 64, p. 114-118, 1940.

QUIRING, S. M.; LEGATES, D. R. Application of CERES-Maize for within-season prediction of rainfed corn yields in Delaware, USA. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 6, p. 964-975, 2008.

SALVADOR, R. J. Use of Computerized Simulation to Advance Agricultural Research in Developing Countries. In: **Eighth International Congress on Research in Electrical Sciences**. Instituto Tecnológico de la Laguna, 20 - 24 September 1993, Torreón, Coahuila, México. 1993.

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: **Seminário de iniciação Científica PIBIC/BIC Júnior**, 2010, Sete Lagoas. I Seminário de Iniciação Científica PIBIC/BIC Júnior, 2010.

SANTOS, R. D., PEREIRA, L. G. R., NEVES, A. L. A., AZEVÊDO, J. A. G., MORAES, S. A. COSTA, C. T. F. Características agronômicas de variedades de milho para produção de silagem. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. Maringá, v. 32, n. 4, p. 367-373, 2010.

SILVA, P. P. G.; ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; SOUZA, A. A. C.; TEIXEIRA, T. C.; PAIXAO, J. S. Análise da Sensibilidade da Cultura do Milho às Mudanças Climáticas Empregando Modelos de Simulação: Resposta às Alterações na Temperatura do Ar. In: **XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 2014, Salvador, BA. XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2014.

SILVA, D.F., ANDRADE, C.L.T., RESENDE, A.V., GARCIA Y GARCIA, A., RODRIGUES, C.C.F., TEIXEIRA, T.C., AMARAL, T.A., PAIXAO, J.S. Yield and Nitrate leaching in a rainfed maize crop using swine manure and mineral fertilizer as nitrogen sources. Paper Number 131596073. **ASABE International Meeting**. Kansas City, Missouri, 2013.

SILVA, D. F.; ANDRADE, C. T.; RESENDE, A. V.; HICKMANN, C.; AMARAL, T. A.; ALVES, M. E. B. Nitrogen dynamics in soils cultivated with maize and fertilized with pig slurry. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 9-23, 2012.

SINGH, P.; SRINIVAS, K. Crop simulation models as decision-making tools for managing agricultural droughts. In: **RAMAKRISHNA, Y. S.; RAO, G. G. S. N.; SASTRY, P. S. N.; RAO, V. U. M.** (Ed.). *Agricultural droughts: aspects of micrometeorology: a lecture notes of 4th SERC School*. Hyderabad: CRIDA, 2007.

SOLER, C. M. T.; SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOOM, G. Application of the CSM-CERES - Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize

grown off-season in a subtropical environment. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 27, p. 165-177, 2007.

SOLER, C. M. T. **Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho safrinha**. 2004. 132 f. Tese Universidade de São Paulo (USP). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2004.

THORNTON, P.K., HOOGENBOOM, G. A computer program to analyze single season crop model outputs. **Agronomy Journal**, v.86, p. 860-868, 1994.

TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. **Understanding options for agricultural production**. Dordrecht: **Kluwer**. (Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development, 7), 399 pp, 1998.

VERMOREL, M. Nutrition ´energetique (energetic nutrition). In: **Jarrige, R.** (Ed.), Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. INRA, Paris, 1988. pp. 57–71.

VOGT, G. A.; JÚNIOR, A. A. B.; BACKES, R. L.; HÖFS, A.; DUFLOTH, J. H.;6, MÁRIO, A. J. ALMEIDA, E. X. AVALIAÇÃO DE CULTIVARES DE MILHO EM SANTA CATARINA–SAFRA 2009/10. In: **Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 8., 2011, Chapecó. Resumos expandidos... Chapecó: Epagri, 2011. 5 p. SeçãoMilho, 1.1.CD-ROM., 2012.

VOGT, G. A. **A dinâmica do uso e manejo de variedades locais de milho em propriedades agrícolas familiares**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.

WALKLEY, A.; BLACK, J.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

WIERSMA, D.W., CARTER, P., ALBRECHT, K.A., COORS, J.G. 1993. Kernel milkline stage and corn forage yield, quality, and dry matter content. **Journal of Production Agriculture**, v. 6, p. 94–99, 1993.

WILLMOTT, C.J.; AKLESON, G.S.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.

ZHAO, Y.; CHENA, S.; SHEN, S. Assimilating remote sensing information with crop model using Ensemble Kalman Filter for improving LAI monitoring and yield estimation. **Ecological Modelling**, v. 270, p. 30-42, 2013.