

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

Amanda Thirza Lima Santos

**INTRODUÇÃO DE NÍVEIS TECNOLÓGICOS NO MODELO Simanihot
E SUA APLICAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DE MANDIOCA EM ANOS
COM INFLUÊNCIA DO FENÔMENO ENOS**

**Santa Maria, RS
2020**

Amanda Thirza Lima Santos

**INTRODUÇÃO DE NÍVEIS TECNOLÓGICOS NO MODELO Simanihot
E SUA APLICAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DE MANDIOCA EM ANOS
COM INFLUÊNCIA DO FENÔMENO ENOS**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Luis Petter Medeiros

Santa Maria, RS
2020

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Santos, Amanda Thirza Lima

INTRODUÇÃO DE NÍVEIS TECNOLÓGICOS NO MODELO Simanihot E SUA APLICAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DE MANDIOCA EM ANOS COM INFLUÊNCIA DO FENÔMENO ENOS / Amanda Thirza Lima Santos.- 2020.

99 p.; 30 cm

Orientador: Sandro Luis Petter Medeiros

Coorientador: Nereu Augusto Streck

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Agronomia, RS, 2020

1. mandioca 2. Simanihot 3. ENOS 4. níveis tecnológicos
5. segurança alimentar I. Petter Medeiros, Sandro Luis
II. Streck, Nereu Augusto III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, AMANDA THIRZA LIMA SANTOS, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Amanda Thirza Lima Santos

**INTRODUÇÃO DE NÍVEIS TECNOLÓGICOS NO MODELO Simanihot
E SUA APLICAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DE MANDIOCA EM ANOS
COM INFLUÊNCIA DO FENÔMENO ENOS**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Aprovada em 16 de abril de 2020:

Sandro Luis Petter Medeiros, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Angélica Durigon, Dr^a. (UFSM) – Parecer

Luana Fernandes Tironi, Dr^a. (EMATER/ASCAR) – Parecer

Jossana Ceolin Cera, Dr^a. (IRGA) – Parecer

Ivan Carlos Maldaner, Dr. (IFFAR SVS) – Parecer

Santa Maria, RS
2020

Aos meus pais, Rosilda Furtada de Lima Santos e Amadeus Guardino dos Santos, maiores exemplos de amor, perseverança e fé e a todas as pessoas que sempre estiveram na torcida pelo meu sucesso.

Dedido...

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, que me ilumina e me dá forças para sempre acreditar e ter fé naquilo que sonho.

Aos meus pais, Rosilda e Amadeus, e meu irmão, Igor Michael, por me amarem incondicionalmente e me dar suporte para nunca desistir.

À minha família, que mesmo distante sempre estavam torcendo pela minha formação.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia por me oferecer a oportunidade de realização do curso.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus orientadores, Prof. Nereu Streck e Sandro Medeiros, pelos ensinamentos.

À Dr^a. Eng. Agrônoma Luana Tironi, pelos ensinamentos, carinho e disposição sempre que precisei de ajuda.

À Equipe Simanihot, sem a ajuda desta equipe de fato esta pesquisa não seria realizada. Ao pessoal da “Sala 2”, pelo companheirismo e convivência durante esses anos que estive no grupo, “Valeu galera”.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Ao Eng. Agrônomo Alfredo Schons, in memoriam, que nos auxiliou nesta pesquisa e foi o pioneiro nos estudos com a cultura da mandioca no Grupo de Agrometeorologia da UFSM.

À minha grande amiga Cândida Regina Müller, que sempre me ajudou a ver o copo sempre cheio e a sua família que me acolheu com muito carinho.

À EMATER/ASCAR, Escola Nossa Senhora Aparecida, UNIPAMPA campus Itaqui e UFSM campus Frederico Westphalen pelo auxílio na condução dos experimentos.

Em suma, agradeço a todos que contribuíram para que eu conseguisse completar essa jornada e realizar este trabalho. Vocês fazem parte da minha história e estão em meu coração.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”

(Albert Einstein)

RESUMO

INTRODUÇÃO DE NÍVEIS TECNOLÓGICOS NO MODELO Simanihot E SUA APLICAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DE MANDIOCA EM ANOS COM INFLUÊNCIA DO FENÔMENO ENOS

AUTORA: Amanda Thirza Lima Santos
ORIENTADOR: Sandro Luis Petter Medeiros

O modelo Simanihot é um modelo matemático dinâmico que simula o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de mandioca no Estado do Rio Grande do Sul a nível potencial e utilizando modelos de balanço hídrico. Mesmo estando disponível para uso, este modelo precisa estar constantemente em estudo e aperfeiçoamento para que se consiga descrever com precisão os processos ecofisiológicos da cultura e representar melhor as lavouras comerciais, tornando esse modelo uma ferramenta eficiente para uma maior faixa de produtores de mandioca. Assim, os objetivos desta tese foram (i) aperfeiçoar o modelo de mandioca Simanihot para que seja considerado o cultivo em níveis tecnológicos sob o crescimento, desenvolvimento e produtividade de raízes da cultivar Vassourinha e (ii) avaliar a influência do fenômeno ENOS na produtividade da cultivar de mandioca Vassourinha no Rio Grande do Sul, nos diferentes níveis tecnológicos usando o modelo Simanihot. Para calibração do modelo para a cultivar Vassourinha em nível tecnológico alto, médio e baixo foram realizados experimentos em Júlio de Castilhos no ano agrícola 2017/2018, e para estimativa dos parâmetros foi utilizado o método de tentativa e erro, que minimiza o quadrado médio do erro entre os valores observado e os valores estimados. Os dados independentes para avaliação do modelo são referentes aos experimentos realizados em Dilermando de Aguiar, Itaqui, Ibarama e Frederico Westphalen nos anos agrícolas 2017/2018 e 2018/2019. O desempenho do modelo Simanihot foi avaliado com as estatísticas raiz do quadrado médio do erro (RQME), índice BIAS, coeficiente de correlação (r), índice de concordância (dw) e eficiência do modelo (EF). Para a avaliação da influência do fenômeno ENOS na produtividade da cultivar de mandioca Vassourinha, foi utilizado o modelo Simanihot, usando o modelo de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather que está acoplado no modelo de mandioca. O modelo foi rodado para os últimos 58 anos, para seis datas de plantio dentro do período recomendado pelo zoneamento agroclimático da cultura, para 11 locais (Bagé, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Passo Fundo, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria, Santana do Livramento, São Luiz Gonzaga, Torres e Uruguaiana) e para as unidades de mapeamento de solo predominantes de cada local. As avaliações foram realizadas de acordo com as curvas de produtividade média encontradas para o local e fase do fenômeno ENOS. Esse trabalho permitiu a calibração do modelo Simanihot para simular o crescimento, desenvolvimento e a produtividade de raízes tuberosas e parte aérea de mandioca da cultivar Vassourinha, nos níveis tecnológicos alto, médio e baixo. A ocorrência do fenômeno ENOS não ocasiona grande diferença de produtividades (raízes tuberosas e parte aérea) da cultivar Vassourinha. As maiores variabilidades interanuais de produtividades simuladas ocorrem em anos neutros. O atraso na época de plantio em 80 dias, determinou maior decréscimo da produtividade de raízes tuberosas de mandioca, cultivar Vassourinha, quando cultivada em nível tecnológico baixo. A produtividade média de massa seca de parte aérea é maior em anos com ocorrência de El Niño, para a maioria dos locais estudados.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz. Simanihot. Modelos agrícola. Níveis de manejo. El Niño. La Niña.

ABSTRACT

INTRODUCTION OF TECHNOLOGICAL LEVELS IN THE Simanihot MODEL AND ITS APPLICATION IN CASSAVA PRODUCTIVITY IN YEARS WITH THE INFLUENCE OF THE ENSO PHENOMENON

AUTHOR: Amanda Thirza Lima Santos

ADVISOR: Sandro Luís Petter Medeiros

The Simanihot model is a dynamic mathematical model that simulates the growth, development and productivity of cassava in the State of Rio Grande do Sul at the potential level and using water balance models. Even though it is available for use, this model needs to be constantly under study and improvement so that it can accurately describe the ecophysiological processes of the crop and better represent commercial crops, making this model an efficient tool for a wider range of cassava producers. Thus, the objectives of this thesis were (i) to improve the Simanihot cassava model so that it is considered the cultivation in technological levels under the growth, development and productivity of roots of the cultivar Vassourinha and (ii) to evaluate the influence of the ENSO phenomenon in the productivity of Vassourinha cassava cultivar in Rio Grande do Sul, at different technological levels using the Simanihot model. For calibration of the cultivar Vassourinha at high, medium and low technological level, experiments were carried out in Júlio de Castilhos in the crop year 2017/2018, and to estimate the parameters, the trial and error method was used, which minimizes the average square of error between the observed values and estimated values. The independent data for the evaluation of the model refer to the experiments carried out in Dilermando de Aguiar, Itaqui, Ibarama and Frederico Westphalen in the crop years 2017/2018 and 2018/2019. The performance of the Simanihot model was evaluated using the root statistics of the mean square of error (RQME), BIAS index, correlation coefficient (r), agreement index (dw) and efficiency of the model (EF). For the evaluation of the influence of the ENOS phenomenon on the productivity of the cassava cultivar Vassourinha, the Simanihot model was used, using the water balance model of Thornthwaite and Mather, which is coupled to the Simanihot. The model has been run for the last 58 years, for six planting dates within the period I recommend for the agroclimatic zoning of the crop, for 11 locations (Bagé, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Passo Fundo, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria, Santana Livramento, São Luiz Gonzaga, Torres and Uruguaiana) and for the predominant soil mapping units in each location. The evaluations were carried out according to the average productivity curves found for the location and phase of the ENSO phenomenon. This work allowed the calibration of the Simanihot model to simulate the growth, development and productivity of tuberous roots and aerial part of cassava of the cultivar Vassourinha, at the high, medium and low technological levels. The occurrence of the ENOS phenomenon does not cause much difference in productivity (tuberous roots and aerial part) of the cultivar Vassourinha. The greatest interannual variability in simulated productivities occurs in neutral years. The delay in the planting season in 80 days determines a greater decrease in the yield of cassava tuberous roots, cultivar Vassourinha, when cultivated at a low technological level. The average dry mass productivity of shoots is higher in years with the occurrence of El Niño, for most of the studied locations.

Key-words: *Manihot esculenta* Crantz. Simanihot. Crop models. Management levels. El Niño. La Niña.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFE	Área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)
AFE ₀	Área foliar específica para um determinado nível tecnológico a uma temperatura normal de 24°C e sem estresse hídrico, ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)
C	Índice de confiança ou desempenho
CT	Crescimento total da cultura
DAP	Dias após o plantio
Dd	Tempo de desenvolvimento
Dw	Índice de concordância
EF	Eficiência do modelo
EL	El Niño
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ENSO	El Niño Southern Oscillation
HFPA	Razão haste/parte aérea inicial
HIPA	Razão haste/parte aérea final
IAA	Início de acumulação de amido
IAF	Índice de área foliar
IOS	Índice de Oscilação Sul
LA	La Niña
NF	Número de folhas por planta
NHP	Número de hastes principais
NHRS1	Número de hastes na RS1
NHRS2	Número de hastes na RS2
NHRS3	Número de hastes na RS3
NTA	Nível tecnológico alto
NTB	Nível tecnológico baixo
NTM	Nível tecnológico médio
ONI	Índice Niño oceânico
PE	Tempo de desenvolvimento entre plantio e emergência (Dd)
Pleaf	Máxima longevidade foliar (dias)
R	Coefficiente de correlação
R ²	Coefficiente de determinação
RQME	Raiz do quadrado médio do erro
RS1	Tempo de desenvolvimento entre a emergência e a primeira ramificação simpodial (Dd)
RS2	Tempo de desenvolvimento entre a emergência e a segunda ramificação simpodial (Dd)
RS3	Tempo de desenvolvimento entre a emergência e a terceira ramificação simpodial (Dd)
TAFmaxHP	Taxa máxima de aparecimento de folhas na haste principal
TAFmaxRS1	Taxa máxima de aparecimento de folhas na RS1
TAFmaxRS2	Taxa máxima de aparecimento de folhas na RS2
TAFmaxRS3	Taxa máxima de aparecimento de folhas na RS3
TCTmax	Taxa de crescimento máximo da cultura, ($\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)
TF	Tamanho de folha (cm^2)
TF300	Tamanho de folha aos 300 dias após emergência (cm^2)
TFmax	Tamanho máximo de folha (cm^2)
Tm	Coefficientes de forma na equação do tamanho de folha

TSM	Temperatura da superfície do mar
tTF	Tempo em dias após a emergência que o TFmax é alcançado
UM	Unidade de mapeamento de solos

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa da América do Sul, Brasil (a) e do Estado do Rio Grande do Sul (b) com os locais utilizados para calibração do modelo Simanihot para a cultivar Vassourinha cultivadas nos níveis tecnológicos alto, médio e baixo (Júlio de Castilhos) e avaliação do modelo (Dilermando de Aguiar, Frederico Westphalen, Ibarama e Itaqui).....31
- Figura 2 – Mapa da América do Sul, Brasil (a) e do Estado do Rio Grande do Sul (b) com as localidades das estações meteorológicas utilizadas neste estudo.....34
- Figura 3 – Equação para cálculo da área de folhas individuais em função do comprimento do maior lóbulo na cultivar de mandioca Vassourinha (a) e a relação entre os valores reais e estimados de área de folhas individuais (b), em Santa Maria, RS, Brasil.....39
- Figura 4 – Calibração dos parâmetros e processos de desenvolvimento e crescimento para a cultivar Vassourinha no nível tecnológico alto. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....44
- Figura 5 – Calibração dos parâmetros e processos de desenvolvimento e crescimento para a cultivar Vassourinha no nível tecnológico médio. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....45
- Figura 6 – Calibração dos parâmetros e processos de desenvolvimento e crescimento para a cultivar Vassourinha no nível tecnológico baixo. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....46
- Figura 7 – Dados diários de temperatura mínima e máxima ($^{\circ}\text{C}$) (a, c, e, g, i), radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) e precipitação (mm) (b, d, f, h, i) de Júlio de Castilhos (a, b), Dilermando de Aguiar (c, d), Itaqui (e, f), Ibarama (g, h), Frederico Westphalen (i, j) durante a estação cultivo dos experimentos de níveis tecnológicos na cultura da mandioca.....53
- Figura 8 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico alto, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Dilermando de Aguiar/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....54

Figura 9 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico alto, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Itaquí/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....55

Figura 10 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico alto, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Frederico Westphalen/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....56

Figura 11 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico alto, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Ibarama/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....57

Figura 12 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico médio, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Dilermando de Aguiar/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....58

Figura 13 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico médio, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Itaquí/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....59

Figura 14 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico médio, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Frederico Westphalen/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de

área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....	60
Figura 15 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico médio, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Ibarama/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....	61
Figura 16 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico baixo, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Dilermando de Aguiar/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....	62
Figura 17 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico baixo, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Itaquí/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....	63
Figura 18 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico baixo, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Frederico Westphalen /RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....	64
Figura 19 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico baixo, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Ibarama/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).....	65
Figura 20 – Avaliação do modelo Simanihot para produtividade de raízes tuberosas (Mg ha ⁻¹) dos experimentos realizados com a cultivar Vassourinha para os níveis tecnológicos alto, médio e baixo em Dilermando de Aguiar, Frederico Westphalen, Ibarama e Itaquí durante os anos agrícolas 2017/2018 e 2018/2019.....	
Figura 21 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros,	

anos caracterizados como El Niño e La Niña em Bagé cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).....	72
Figura 22 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Cruz Alta cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).....	63
Figura 23 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Encruzilhada do Sul cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).	74
Figura 24 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Passo Fundo cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).....	75
Figura 25 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Pelotas cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).....	76
Figura 26 - Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Porto Alegre cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).....	77
Figura 27 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Santa Maria cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).....	78
Figura 28 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Santana do Livramento cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).....	79
Figura 29 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em São Luiz Gonzaga cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).....	80
Figura 30 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Torres cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).....	81
Figura 31 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Uruguaiana cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).....	82
Figura 32 – Distribuição da produtividade de raízes tuberosas de mandioca da cultivar Vassourinha simuladas no nível tecnológico alto, no período de 1961 a 2019, associadas a ocorrência de El Niño, La Niña e em anos Neutros, para 11 locais do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Bagé (a), Cruz Alta (b), Encruzilhada do Sul (c), Passo Fundo (d), Pelotas (e), Porto Alegre (f), Santa Maria (g), Santana do Livramento (h), São Luiz Gonzaga (i), Torres e Uruguaiana (k). A linha cheia horizontal no interior da caixa representa o percentil de (mediana); a linha tracejada representa a média dos anos neutros; o final das caixas os percentis de 25 e 75; as barras os percentis de 10 e 90.....	84

Figura 33 – Distribuição da produtividade de raízes tuberosas de mandioca da cultivar Vassourinha simuladas no nível tecnológico médio, no período de 1961 a 2019, associadas a ocorrência de El Niño, La Niña e em anos Neutros, para 11 locais do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Bagé (a), Cruz Alta (b), Encruzilhada do Sul (c), Passo Fundo (d), Pelotas (e), Porto Alegre (f), Santa Maria (g), Santana do Livramento (h), São Luiz Gonzaga (i), Torres (j) e Uruguaiana (k). A linha cheia horizontal no interior da caixa representa o percentil de 20 (mediana); a linha tracejada representa a média dos anos neutros; o final das caixas os percentis de 25 e 75; as barras os percentis de 10 e 90.....85

Figura 34 – Distribuição da produtividade de raízes tuberosas de mandioca da cultivar Vassourinha simuladas no nível tecnológico baixo, no período de 1961 a 2019, associadas a ocorrência de El Niño, La Niña e em anos Neutros, para 11 locais do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Bagé (a), Cruz Alta (b), Encruzilhada do Sul (c), Passo Fundo (d), Pelotas (e), Porto Alegre (f), Santa Maria (g), Santana do Livramento (h), São Luiz Gonzaga (i), Torres (j) e Uruguaiana (k). A linha cheia horizontal no interior da caixa representa o percentil de 50 (mediana); a linha tracejada representa a média dos anos neutros; o final das caixas os percentis de 25 e 75; as barras os percentis de 10 e 90.....86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conjunto de dados dos experimentos de níveis tecnológicos realizados para avaliação do modelo Simanihot.....	32
Tabela 2 – Estações meteorológicas convencionais com respectivas suas coordenadas geográficas e anos de dados observados que serão utilizados no estudo.....	33
Tabela 3 – Classificação dos anos de acordo com a ocorrência do fenômeno ENOS.....	35
Tabela 4 – Unidades de mapeamento dos solos do Rio Grande do Sul dos locais simulados e suas respectivas classificações de solo correspondentes no SiBCS (EMBRAPA, 2006).....	36
Tabela 5 – Características das unidades de mapeamentos de solos dos locais usados nas simulações (profundidade da camada de solo, granulometria e conteúdo de água no solo nas tensões de 10, 650 e 1500 kPa dos perfis modais das unidades de mapeamento).....	37
Tabela 6 – Parâmetros do modelo Simanihot calibrados para a cultivar Vassourinhas nos níveis tecnológicos alto, médio e baixo.....	41
Tabela 7 – Redução na produtividade de raízes tuberosas de mandioca da cultivar Vassourinha, cultivada em níveis tecnológicos alto (NTA), médio (NTM) e baixo (NTB), gerada pelo atraso no plantio em 80 dias.....	83
Tabela 8 – Porcentagem de anos com produtividade de raízes tuberosas de mandioca acima da produtividade média dos anos classificados como Neutros nos níveis tecnológicos alto (NTA), médio (NTM) e baixo (NTB).....	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 CULTURA DA MANDIOCA	20
2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA NA AGRICULTURA.....	21
2.3 O MODELO SIMANIHOT.....	22
2.4 NÍVEIS TECNOLÓGICOS NA CULTURA DA MANDIOCA	24
2.5 FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 INTRODUÇÃO DA CULTIVAR VASSOURINHA EM NÍVEIS TECNOLÓGICOS NO MODELO SIMANIHOT.....	27
3.1.1 Estimativa da área foliar da cultivar Vassourinha.....	27
3.1.2 Calibração da cultivar Vassourinha em níveis tecnológicos	29
3.1.3 Avaliação da cultivar Vassourinha em níveis tecnológicos.....	31
3.2. ENOS E NÍVEIS TECNOLÓGICOS	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 INCLUSÃO DA CULTIVAR VASSOURINHA EM NÍVEIS TECNOLÓGICOS NO MODELO SIMANIHOT.....	39
4.1.1 Modelo matemático para estimativa da área foliar da cultivar Vassourinha.....	39
4.1.2 Calibração de parâmetros do modelo Simanihot para a cultivar Vassourinha em níveis tecnológicos.....	40
4.1.3 Avaliação da cultivar Vassourinha em níveis tecnológicos.....	47
4.2 INFLUÊNCIA DO ENOS NO CULTIVO DA MANDIOCA EM NÍVEIS TECNOLÓGICOS	66
5 CONCLUSÃO	88
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
7 ANEXOS	96

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) desempenha importante papel na agricultura familiar e na segurança alimentar nas regiões tropicais, por ser um dos maiores fornecedores de calorias em países da África, Ásia e América do Sul (CASTIGLIONI et al., 2013; COCK, 2019; ONU, 2019). Essa cultura, até poucos anos atrás negligenciada pelos pesquisadores, tornou-se foco de estudo de grandes organizações internacionais que promovem projetos de cunho social, visando a redução da fome em países em desenvolvimento.

Apesar da cultura da mandioca ter origem no Brasil, seu cultivo se estende a uma ampla faixa de locais, cerca de 102 países (AMMU et al., 2017), concentrando-se nas regiões entre os trópicos, expandindo-se para regiões de clima subtropical (SCHONS et al., 2009). A grande difusão desta cultura pelo mundo deve-se às suas características de fácil adaptação a solos pobres e a resistência às oscilações meteorológicas que permitem seu cultivo em regiões com precipitação desuniforme durante o ciclo (ALVES, 2006; SOUZA et al., 2014). Dessa forma, é importante compreender como essa cultura responde a diferentes condições edafoclimáticas. Para isso uma alternativa eficiente é a utilização de modelos agrícolas.

Os modelos agrícolas são ferramentas digitais que descrevem de forma simplificada processos ecofisiológicos das culturas, que estão sendo cada vez mais utilizados na agricultura para caracterizar as interações genótipo-ambiente, previsão de safra, estimativa da ocorrência de estágios fenológicos que estão associados a práticas de manejo, e também resposta das culturas a cenários climáticos (STRECK et al., 2003; ROSA et al., 2015; SENTELHAS et al., 2015; MORELL et al., 2016; PAGANI et al., 2017; TIRONI et al., 2017). É fundamental que os modelos para serem utilizados estejam calibrados e apresentem bom desempenho nas avaliações realizadas para as regiões estudadas. Para a cultura da mandioca foi desenvolvido o modelo Simanihot, um modelo matemático dinâmico que simula o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de mandioca no Estado do Rio Grande do Sul (TIRONI et al., 2017). Este modelo foi calibrado a partir de experimentos conduzidos em nível potencial para seis cultivares de mandioca (Fepagro-RS13, Fepagro-RS14, Cascuda, São José, Estrangeira e Paraguaia) que apresentam características individuais bem definidas (TIRONI et al., 2017). A cultivar de mandioca Vassourinha é uma cultivar de mesa, de polpa branca, muito difundida nas lavouras de mandioca do Rio Grande do Sul por apresentar boa tolerância a pragas e doenças, facilidade de colheita e ter boa aceitação pelo mercado consumidor. Essa cultivar não se faz presente no Simanihot, sendo necessária a calibração e a introdução desta

cultivar no modelo, permitindo aumentar o acesso de um maior número de produtores, extensionistas e técnicos que trabalham com a cultura.

Além disso, o modelo Simanihot faz simulações apenas a nível potencial e limitado por água, quando ativado um dos modelos de balanço hídrico, não fazendo restrições ao crescimento e desenvolvimento da cultura em relação a níveis de manejo ou níveis tecnológicos. Como a mandioca é considerada um produto da agricultura familiar (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2016), produtores locais relatam não utilizar muitas técnicas de manejo, ocasionando a baixa produtividade média no Rio Grande do Sul (em 2018/2019 foi de 17,85 Mg ha⁻¹ de raízes de mandioca) (IBGE, 2020). Quando comparada com dados de lavouras de mandioca cultivadas em nível tecnológico alto, que chegam a 36 Mg ha⁻¹ (FAGUNDES et al., 2010), constata-se que grande parte das lavouras de mandioca gaúchas não são conduzidas a nível potencial. Dessa forma, o modelo Simanihot pode ser melhorado introduzindo níveis tecnológicos alto, médio e baixo, para representar melhor as lavouras comerciais de mandioca, como foi realizado no modelo SimulArroz (STRECK et al., 2013), tornando-o uma ferramenta eficiente para uma maior faixa de produtores de mandioca e não só para aqueles que buscam altas produtividades.

A produtividade de mandioca no Rio Grande do Sul sofre variações interanuais devido a influências do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) (SANTOS, 2017). Este fenômeno climático possui forte sinal no estado, afetando principalmente a precipitação pluvial e a temperatura do ar (BERLATO; FONTANA, 2003; BERLATO et al., 2005), variáveis meteorológicas que influenciam o crescimento e desenvolvimento da cultura da mandioca. No Rio Grande do Sul, estudos com outras culturas já foram realizados buscando compreender e avaliar a relação entre a variabilidade da produtividade de algumas culturas importantes para a economia estadual e o ENOS, como para o milho (FONTANA; BERLATO, 1996; BERLATO et al., 2005) e arroz (MOTA, 2000).

Para os produtores de mandioca é importante obter informações de como a cultura se comporta em anos com influência do fenômeno ENOS, para que possam fazer o planejamento da safra e estar preparados para intempéries meteorológicas relacionadas ao fenômeno que possam ocorrer no decorrer do ciclo. Para as cultivares de mandioca Fepagro - RS13, Estrangeira e Paraguaia, os efeitos que o ENOS provoca na produtividade de raízes de mandioca quando o cultivo é realizado em diferentes datas de plantio no Rio Grande do Sul foram determinados por Santos (2017). Porém, para cultivar Vassourinha cultivada em diferentes níveis tecnológicos, há poucas pesquisas sobre a relação com este fenômeno. A

partir desse conhecimento sobre a influência do ENOS na produtividade de uma das cultivares mais plantadas no Rio Grande do Sul é possível traçar estratégias para lidar com o risco associado à variabilidade climática, visando a uma agricultura sustentável, com maior estabilidade econômica das comunidades dependentes da cultura da mandioca.

Assim, os objetivos desta tese foram:

Aperfeiçoar o modelo de mandioca Simanihot com a introdução da cultivar de mesa Vassourinha e dos níveis tecnológicos alto, médio e baixo para que seja considerado o cultivo em níveis tecnológicos sob o crescimento, desenvolvimento e produtividade de raízes;

Avaliar a influência do fenômeno ENOS na produtividade da cultivar de mandioca Vassourinha no Rio Grande do Sul, nos diferentes níveis tecnológicos usando o modelo Simanihot.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DA MANDIOCA

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), também conhecida por aipim ou macaxeira, é uma raiz tuberosa, proveniente de uma planta arbustiva, perene, com hábito de crescimento indeterminado, integrante da família Euphorbiaceae (SOUZA et al., 2017; TIRONI et al., 2019). Possui como centro de origem o Brasil e atualmente está presente na maioria dos países tropicais em desenvolvimento (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2015).

O cultivo da mandioca é umas das maiores heranças deixadas pela civilização indígena. Considerada uma cultura rústica, sem muitas exigências com tratamentos culturais, fornece raízes tuberosas que podem ser consumidas frescas após cozimento, processadas em produtos alimentícios ou utilizada para alimentação animal (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2016; BARROZO et al., 2019). Além disso, as raízes tuberosas podem permanecer no solo e serem retiradas à medida que forem sendo consumidas (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2016). Essas características levaram os portugueses a disseminá-la em suas colônias nos continentes africano e asiático, tornando-se o principal alimento nesses novos locais (VILPOUX, 2011; MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2016).

A planta de mandioca é constituída de haste, pecíolos, folhas, raízes fibrosas, raízes tuberosas e frutos. Essa cultura apresenta uma grande variabilidade genética, se adapta a diferentes condições edafoclimáticas e suas características agronômicas são influenciadas por estresses abióticos e bióticos (FARALDO et al., 2000; NOLASCO, 2011; PEPRAH et al., 2020). Como principais fatores que influenciam o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura da mandioca são elencados a radiação solar, temperatura do ar, fotoperíodo, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e características físico-químicas do solo (LORENZI, 2003).

A cultura se adapta a diferentes tipos de solo, entretanto deve-se evitar o plantio em solos mal drenados, que podem acarretar no apodrecimento das manivas durante o período entre plantio e emergência (TIRONI et al., 2019). Em áreas que apresentam dificuldade de drenagem, uma alternativa é o plantio em camalhões. Apesar da mandioca não tolerar excesso de umidade no solo, também não deve ficar exposta a longos períodos sem irrigação. A

deficiência hídrica pode resultar em redução no número de plantas por aérea, redução no porte das plantas e na produtividade de raízes tuberosas (TIRONI et al., 2019).

A principal forma de propagação desta cultura é a vegetativa, utilizando partes da haste da planta, chamadas de maniva ou estaca (CÂMARA; GODOY, 1998; SÉIBOU et al., 2015). A altura da planta também é variável, dependendo do genótipo ou sua forma de propagação, pode possuir porte ereto ou ramificado e quando ramificado, pode-se dividir em dicotômica, tricotômica ou tetracotômica (CARVALHO; FUKUDA, 2006). As flores são monóicas e a inflorescência uma panícula e racemos compostos por flores masculinas e femininas, formada geralmente nas extremidades das ramificações simpodiais da planta (CARVALHO; FUKUDA, 2006).

A época de plantio da mandioca no Brasil é variável entre suas regiões, dependendo principalmente da temperatura do ar e disponibilidade pluviométrica (SAMBORANHA, 2013). No Grande do Sul, Maluf et al. (2011) recomendou o plantio de mandioca entre os meses de setembro a novembro. A colheita pode ser realizada a partir de seis meses após o plantio até 24 meses (quando o ciclo for bianual).

A planta de mandioca tem múltiplas finalidades, podendo ser utilizada tanto na alimentação humana e animal, como também na indústria farmacêutica, têxtil e para produção de bioetanol (BARROZO et al., 2019; TAGLIAPIETRA et al., 2019). As folhas de mandioca são ricas em proteína e outros nutrientes como o ferro, sendo utilizada na alimentação humana em algumas regiões no combate a desnutrição (BARROZO et al., 2019; MODESTO JUNIOR et al., 2019) e também na forma de feno e silagem na alimentação animal (TAGLIAPIETRA et al., 2019). Entretanto, são as raízes tuberosas que são mais utilizadas como fonte de carboidrato, podendo ser consumidas na forma in natura após cozida, processadas em produtos alimentícios, sendo utilizada também como subproduto em outros processos industriais.

2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA NA AGRICULTURA

Modelos matemáticos são uma simplificação da realidade que nos permitem descrever complexas interações entre agroecossistemas, sendo ferramentas cada vez mais usadas em estudos científicos, como de crescimento e desenvolvimento vegetal (SHIN et al., 2006; SHIN et al., 2010; SAMBORANHA, 2013).

Os modelos utilizados para simular a produtividade de culturas agrícolas podem ser agrupados em empíricos e mecanísticos. Os modelos matemáticos empíricos são frequentemente baseados em relações estatísticas, que podem ou não ter relação de causa/efeito, ou seja, dos dados inseridos são ajustadas equações matemáticas através de métodos estatísticos. Em modelos matemáticos mecanísticos, o modelo é a representação do sistema através de equações que descrevem processos, sendo necessário compreender os processos envolvidos no fenômeno de estudo e posteriormente se procuram relações matemáticas baseadas em soluções analíticas ou numéricas (STRECK et al., 2013).

Para a aplicação de um modelo agrícola em um determinado local, devem ser realizados testes e, se necessário, a calibração do modelo para cultivares locais. Uma vez calibrado, o modelo simula a interação entre a cultura e o ambiente, sendo uma ferramenta para o planejamento da condução da lavoura e da venda do produto, de previsão de safra e em cenários climáticos futuros (HOOGENBOOM, 2000).

Modelos matemáticos de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade tem sido propostos para várias culturas, como arroz (SimulAroz; STRECK et al., 2013), gladiolo (PhenoGlad; UHLMANN et al., 2017), e também inclusive para mandioca (BOERBOOM, 1978; COCK et al., 1979; FUKAI; HAMMER, 1987; GIJZEN et al., 1990; MATTHEWS; HUNT, 1994; MITHRA et al., 2018). Tais modelos foram sendo aperfeiçoados a medida que a pesquisa avançava e mais conhecimento sobre a fisiologia e resposta em diferentes condições ambientais eram difundidos (GABRIEL, 2013). Dentre esses modelos de crescimento e desenvolvimento da cultura da mandioca, o modelo Simanihot (STRECK et al., 2015), foi construído para simular diversos processos ecofisiológicos dessa cultura para as condições do Estado do Rio Grande do Sul.

2.3 O MODELO SIMANIHOT

Para a cultura da mandioca, foi desenvolvido o modelo Simanihot (“Si” de simulador e “manihot” referente ao nome científico da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz L.)). É um modelo matemático dinâmico baseado em processos (*process – based model*) proposto para simular diversos processos ecofisiológicos da cultura da mandioca no estado do Rio Grande do Sul (TIRONI et al., 2017).

Seu código é originário do modelo GUMCAS (MATTHEWS; HUNT, 1994), que foi modificado por Gabriel et al. (2013), Gabriel et al. (2014) e Tironi et al. (2017). No modelo

Simanihot o crescimento e desenvolvimento são comandados por três "relógios" da planta, sendo o primeiro o "relógio" do desenvolvimento vegetativo (responsável pelo aparecimento das folhas), o segundo o "relógio" do desenvolvimento reprodutivo (responsável pelo aparecimento das ramificações simpodiais) e o terceiro "relógio" corresponde ao tempo entre a emergência e o início de acumulação de amido (a planta só começa a acumular carboidratos nas raízes tuberosas a partir do tempo determinado por esse relógio) (GABRIEL, 2013; GABRIEL et al., 2014).

Neste modelo foram introduzidos dois submodelos de balanço hídrico do solo, Thornthwaite e Mather e de Ritchie. O modelo hídrico proposto por Thornthwaite e Mather utiliza uma abordagem mais simples e requer menos parâmetros de entrada relacionados as características físicas do solo, quando comparado com o modelo de Ritchie. O modelo de Ritchie é um modelo mais complexo e considera a maioria dos processos e dinâmicas da água em diferentes camadas do solo, além de utilizar um maior número de parâmetros relacionados às condições físicas do solo (TIRONI et al., 2017).

O modelo foi desenvolvido em FORTRAN 77, mas também foi desenvolvida uma interface amigável em Java que permite fácil entendimento e interatividade das pessoas interessadas a utilizar a ferramenta (TIRONI et al., 2017). Para a realização de uma simulação de um ciclo de cultivo de mandioca, é necessário inserir os dados diários meteorológicos de todo o período que se deseja simular. Os dados meteorológicos necessários para rodar o modelo são: temperatura mínima, máxima e média do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar média (%), velocidade do vento média (m s^{-1}), radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) precipitação pluvial (mm) e evapotranspiração (mm). Inserido os dados meteorológicos, deve-se informar a cultivar para qual deseja simular (Fepagro-RS13, Fepagro-RS14, Cascuda, Estrangeira, São José e Paraguaia), o local ou a latitude do local específico, a concentração de CO_2 na atmosfera, a densidade de plantas, se deseja que a simulação inicie a partir do plantio ou emergência, a data do plantio e da colheita, e por fim escolher a opção de simular sem limitação por água ou considerando o balanço hídrico do solo. É importante frisar que o modelo Simanihot apenas irá simular para o período de dados que foram inseridos no modelo.

O Simanihot é uma ferramenta moderna, que pode ser utilizada no ensino, pesquisa e extensão, por estudantes de graduação e pós-graduação, professores, pesquisadores, extensionistas e tomadores de decisão (TIRONI et al., 2017).

2.4 NÍVEIS TECNOLÓGICOS NA CULTURA DA MANDIOCA

A produtividade média nacional de raízes tuberosas de mandioca nos últimos 5 anos é de 14,7 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2020), bem abaixo do potencial produtivo da cultura que é de 60 Mg ha⁻¹ (COCK, 1990). Uma das causas da baixa produtividade brasileira de mandioca está relacionada ao cultivo, principalmente em áreas consideradas marginais para a agricultura, em solos de baixa fertilidade e com pouca utilização de práticas de manejo adequadas (ALVES, 2006; SOUZA et al., 2017).

Essa cultura é de grande importância socioeconômica, pois é uma das principais fontes de calorias para populações de baixa renda e importante matéria-prima para agroindústrias (CARDOSO, 2003). Nesse contexto, verifica-se que a mandioca é cultivada em diferentes sistemas de manejo, sistemas mais simples, nos quais são produzidas raízes de mandioca para subsistência e atualmente, em sistemas mais tecnificados, onde a cultura está sendo cultivada em grande escala para atender a demanda do setor industrial.

Sabe-se que os sistemas de manejos empregados nas lavouras estão relacionados com as produtividades finais obtidas, e que a adoção de tecnologias pode elevar a produtividade de uma lavoura. Apesar do emprego de tecnologias novas e sistemas de manejo eficientes sejam de conhecimento do agricultor, geralmente por fatores socioeconômicos, como a falta de capital, não permite a utilização destes recursos por grande parte dos produtores (KHAN et al., 2002).

A determinação do potencial produtivo da mandioca em diferentes sistemas de cultivo é imprescindível para a tomada de decisões relacionadas ao manejo da cultura, por possibilitar a identificação dos fatores limitantes e dimensionar os seus impactos. Dessa forma, é possível traçar estratégias e definir qual o melhor nível de tecnologia que pode ser utilizado com o capital que se tem. Assim, os níveis tecnológicos representam e são definidos a partir do rendimento obtido pelo agricultor, das tecnologias utilizadas no processo de cultivo, como a utilização de material propagativo de boa qualidade, preparo e adubação do solo de forma adequada, utilização de defensivos agrícolas no combate a infestações e etc., como também definido por Cassman et al. (2003). Em estudo realizado na Bolívia por Torrez (2017), os níveis tecnológicos são definidos para diferentes culturas, considerando os custos de produção e a forma de utilização dos insumos no campo. No Brasil, para algumas culturas já tem definido metodologias de níveis tecnológicos, como para o arroz, milho (SANGOI et al., 2003) e mel (FREITAS et al., 2004).

Como alternativa aos agricultores de mandioca gaúchos, a Equipe Simanihot lançou a proposta de incluir simulações utilizando os níveis tecnológicos no modelo Simanihot visando colaborar na tomada de decisão em relação ao custo-benefício do cultivo de mandioca em cada um dos níveis tecnológicos. Dessa forma, pode-se mostrar por meio de simulações que o avanço tecnológico é fundamental para que o produtor consiga um aumento na produtividade, consequentemente, boa lucratividade. Porém, caso deseje continuar no mesmo nível tecnológico, saberá que há uma ferramenta eficiente disponível.

2.5 FENÔMENO EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno natural de escala global que afeta as condições normais do clima, influenciando a temperatura do ar e precipitação, sendo responsável por secas severas, inundações, ciclones tropicais, incêndios florestais e eventos climáticos extremos em todo o mundo (BERLATO et al., 2005; L'HEUREUX, 2014). Este fenômeno atmosférico-oceânico é considerado um dos mais importantes na Terra devido à sua capacidade de alterar a circulação geral da atmosfera.

O ENOS é gerado a partir da ação conjunta de alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial (BERLATO, et al., 2005). Tal fenômeno foi descrito por pescadores que costumavam navegar pelas águas do Oceano Pacífico, que relatavam uma variação na oferta de peixes que costumava coincidir com as oscilações da Temperatura de Superfície do Mar (TSM) (WALKER, 1923). O referido autor também descobriu que havia uma oscilação relacionada à pressão do nível do mar na costa oeste da América do Sul que costumava ocorrer entre quatro e sete anos, a qual foi chamada de Oscilação Sul.

O fenômeno ENOS pode ser mensurado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS) e pelo Índice Niño Oceânico (ONI), sendo o ONI o índice de monitoramento principal da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para El Niño e La Niña, que são as fases opostas do padrão climático do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (SUN et al., 2015; DAHLMAN, 2016). A NOAA considera condições de El Niño quando o ONI é $+0,5^{\circ}\text{C}$ ou superior, indicando que a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) da região equatorial do Oceano Pacífico (aproximadamente a região do chamado Niño 3.4) está mais quente que a média dos últimos 30 anos. Para condições de La Niña, o ONI deve ser $-0,5^{\circ}\text{C}$ ou inferior, indicando que a TSM está mais fria do que o habitual (DAHLMAN, 2016). Assim, é possível

prever, quase sempre, o estabelecimento do ENOS com alguns meses de antecedência, prevendo seus impactos no tempo e no clima de uma região.

De acordo com Grimm et al. (1998), o sul da América do Sul é uma das regiões mais afetadas por esse fenômeno, pois a precipitação pluvial é o fator mais influenciado. Na região Sul do Brasil, quando se configura fase de La Nina a precipitação pluviométrica apresenta-se abaixo da normal. Enquanto que, se caracteriza fase de El Niño, ocorre o inverso, precipitação acima da normal (BERLATO et al., 2005; GRIM, 2011). No Rio Grande do Sul, estudo realizado por Matzenauer et al. (2018) mostra que em anos caracterizados como El Niño apresentam maiores índices de precipitação, principalmente durante a primavera.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 INTRODUÇÃO DA CULTIVAR VASSOURINHA EM NÍVEIS TECNOLÓGICOS NO MODELO SIMANIHOT

O modelo de simulação da cultura da mandioca, Simanihot (TIRONI et al., 2017), foi calibrado em condição potencial para as cultivares Fepagro-RS13 (forrageira) (GABRIEL et al., 2013; GABRIEL et al., 2014), Fepagro-RS14 (forrageira), Cascuda (mesa), Estrangeira (mesa), São José (mesa) e Paraguaia (indústria) (TIRONI et al., 2017).

Para introduzir a cultivar Vassourinha em três níveis tecnológicos (alto, médio e baixo) foi realizada a calibração e avaliação desta cultivar utilizando experimentos realizados em Dilermando de Aguiar, Itaqui e Júlio de Castilhos em 2017/2018 e em Frederico Westphalen e Ibarama em 2018/2019.

3.1.1 Estimativa da área foliar da cultivar Vassourinha

Para a estimativa da área foliar da cultivar de mandioca Vassourinha, foi realizado um experimento na safra 2018/2019 em Santa Maria/RS, no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. O preparo do solo foi realizado de forma convencional e devido ao solo da área, classificado como Argissolo Vermelho distrófico arenoso (STRECK et al., 2008), oferecer condições de má drenagem, foram construídos camalhões para o plantio. No dia 10 de outubro de 2018 foi realizado o plantio, com manivas contendo de 5 a 7 gemas, num espaçamento de 1,0 m x 0,8 m. A adubação foi realizada seguindo as recomendações do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFSRS, 2016), utilizando a formulação de NPK 5-20-20, complementada com Superfosfato Simples e Cloreto de Potássio (KCl). O restante do nitrogênio recomendado foi aplicado a lanço, na forma de uréia, quando as plantas apresentavam entre 25 a 30 folhas. Para o controle de plantas daninhas foi aplicado logo após o plantio um herbicida pré-emergente e durante o ciclo da cultura o controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capina.

Entre 160 e 180 dias após o plantio, quando as plantas apresentaram folhas de diferentes tamanhos e formatos, foram selecionadas dez plantas e colhidas trezentas folhas aleatoriamente, selecionando as fotossinteticamente ativas e que não apresentavam danos ou

deformações causadas por doenças, insetos ou outros fatores externos. Após a coleta, as folhas foram separadas do caule e foi medido o comprimento do maior lóbulo com uma régua graduada, considerando o comprimento da lâmina da folha ao longo da nervura central, desconsiderando o pecíolo, em seguida as folhas foram digitalizadas pelo scanner HP LaserJet M1132 MFP a 300 dpi e depois processadas pelo software QUANT v.1.0.2. Do total de folhas mensuradas, 200 folhas foram usadas para estimativa da equação e 100 folhas para avaliar o desempenho.

A área foliar (cm²/folha) de duzentas folhas foi estimada a partir do comprimento do maior lóbulo (cm) pela equação $y = ax^b$, em que “a” e “b” são coeficientes, y é a área foliar (cm²) e x o comprimento do maior lóbulo (cm), conforme realizado por Gabriel et al. (2014). Com esses dados realizou-se uma regressão não linear para estimativa dos coeficientes “a” e “b”, utilizando-se o software Excel.

Para avaliar estatisticamente a equação estimada, foram usados o comprimento dos lóbulos centrais das 100 folhas remanescente (não utilizadas na estimativa). Os resultados foram analisados utilizando as seguintes estatísticas: raiz do quadrado médio do erro (RQME), calculado conforme Janssen e Heuberger (1995); índice BIAS (LEITE; ANDRADE, 2002); índice confiança ou desempenho (c) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997); coeficiente de correlação (r) (WALLACH, 2006); e índice de concordância (*dw*).

$$RQME = [\sum (S_i - O_i)^2 / N]^{0,5} \quad (1)$$

$$BIAS = (\sum S_i - \sum O_i) / \sum O_i \quad (2)$$

$$c = r.d \quad (3)$$

$$r = \sum (O_i - \bar{O}) (S_i - S) / \{[\sum (O_i - \bar{O})^2][\sum (S_i - S)^2]\}^{0,5} \quad (4)$$

$$dw = 1 - [\sum |S_i - O_i|] / [\sum (|S_i - \bar{O}|) + (|O_i - \bar{O}|)] \quad (5)$$

Nas equações 1, 2, 4 e 5, “S_i” representa os valores estimados da área foliar (cm²/folha), “O_i”, os valores observados de área foliar (cm²/folha), “ \bar{O} ” o somatório dos valores de área foliar observados e “N” o número de observações.

O RQME (Equação 1) expressa a magnitude do erro produzido pela equação, de modo que quanto mais próximos de zero os valores de RQME, melhor a equação estimará a área foliar (JANSSEN; HEUBERGER, 1995). O índice BIAS (Equação 2) expressa o desvio médio dos valores estimados em relação aos valores observados, indicando a tendência do modelo de superestimar ou subestimar os valores da área foliar e, portanto, quanto mais próximo de zero for, menor é o erro da equação (LEITE; ANDRADE, 2002). Proposto por

Camargo e Sentelhas (1997), o índice de confiança ou desempenho (c) (Equação 3), indica o desempenho da equação, quanto mais próximo de um, melhor o desempenho. O coeficiente de correlação (r) (Equação 4) indica o grau de dispersão e associação dos dados simulados em relação aos dados observados e quanto mais próximos de um, mais correlacionados serão os dados simulados e observados. O índice dw (Equação 5) é uma modificação do índice d sugerido por Willmott et al. (1985), onde os valores de dw variam de zero, para nenhuma correspondência, a um, para a correspondência perfeita.

3.1.2 Calibração da cultivar Vassourinha em níveis tecnológicos

A calibração da cultivar Vassourinha em três diferentes níveis tecnológicos foi realizada com dados de experimento realizado no ano agrícola 2017/2018 em parceria com a Escola Estadual de Ensino Fundamental Nossa Senhora Aparecida, localizada no distrito de São João dos Melos, pertencente ao município de Júlio de Castilhos/RS.

Todos os experimentos, tanto de calibração como de avaliação, foram conduzidos seguindo as práticas de manejo que representam os níveis tecnológicos empregados pelos agricultores no Rio Grande do Sul. Os níveis tecnológicos alto, médio e baixo foram definidos através de reuniões com técnicos de instituições de pesquisa e extensão, enquadrando as lavouras de mandioca do Estado em três níveis tecnológicos.

O nível tecnológico baixo (NTB) é caracterizado por lavouras que não recebem correção do solo com calcário, adubação, controle químico de pragas e apenas uma capina é realizada após a emergência da cultura para controle de plantas daninhas. Para lavouras enquadradas no nível tecnológico médio (NTM), não é realizada calagem, a adubação aplicada é a metade da recomendada para a cultura pelo Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFSRS, 2016), não é realizado o controle fitossanitário com defensivos agrícolas e o controle de plantas daninhas é através de duas capinas. Nas lavouras de mandioca enquadradas no nível tecnológico alto (NTA) realizam-se a calagem para correção dos níveis de cálcio e magnésio e a adubação, seguindo as recomendações do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFSRS, 2016), aplica-se pré-emergente e faz-se o controle de plantas daninhas por meio de capina e também há o controle de insetos e doenças utilizando defensivos agrícolas sempre que necessário.

O plantio foi realizado no dia 24 de outubro de 2017 em três “parcelões” (um para cada tratamento) que constituíram de uma parcela de 278,4 m² com 23,2 m de comprimento e 9,6 m de largura, composta de 12 linhas, com 29 plantas cada, conforme recomendado por Tironi et al. (2017). A densidade de plantas de mandioca foi de 12500 plantas/hectare, com manivas contendo de 5 a 7 gemas, no espaçamento de 1,0 m x 0,8 m. A profundidade de plantio foi de 5 a 8 cm. O preparo do solo foi realizado de forma convencional nos três níveis tecnológicos. Nos NTM e NTA a adubação foi realizada na base utilizando a formulação de NPK 5-20-20, complementada com Superfosfato Simples e Cloreto de Potássio (KCl), e quando as plantas apresentavam entre 25 a 30 folhas foi aplicado o restante do nitrogênio recomendado a lanço, na forma de uréia.

As plantas foram conduzidas em crescimento livre, deixando todas as hastes brotarem da maniva. Após o estabelecimento da cultura, foram realizadas coletas de 10 plantas mensalmente de cada parcelão (uma de cada linha excluindo as bordaduras), das quais foram contados os números de hastes e de folhas em cada haste e medidos o comprimento de cada folha para o cálculo da área foliar. As plantas coletadas foram separadas em raiz, caule e folhas e colocadas para secar em estufa a 60 °C até atingir peso constante, que foram transformados em g/m². Além disso, foram calculados diferentes processos utilizados para a modelagem dessa planta como o índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE) em cm² g⁻¹, fração haste/parte aérea. Também foram observadas as datas de emergência (quando 50% das plantas estivessem visíveis acima do solo) e as datas das ramificações simpodiais (RS1, RS2 e RS3) (quando 50% das plantas apresentaram ramificações).

A colheita foi realizada dia 25 de junho de 2018, sendo coletados os dados de número de folhas totais, dados de produtividade (massa fresca e massa seca das raízes, Mg ha⁻¹), produção de haste e folha (matéria seca, Mg ha⁻¹).

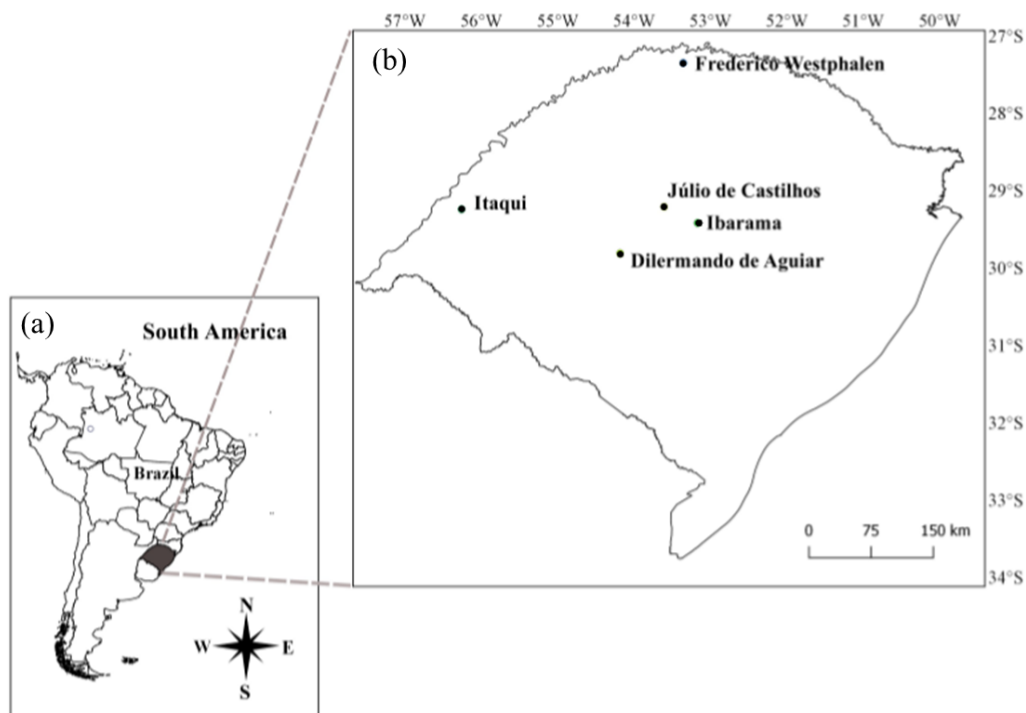
As amostragens mensais dos experimentos forneceram um conjunto de dados para a calibração da cultivar Vassourinha em três níveis tecnológicos no modelo Simanihot. Cada nível tecnológico foi calibrado separadamente, tendo valores específicos dos parâmetros que influenciam no desenvolvimento e crescimento das plantas de mandioca da cultivar Vassourinha. A calibração de cada um dos níveis tecnológicos foi realizada estimando os parâmetros de desenvolvimento e crescimento da planta de mandioca (PE, RS1, RS2 RS3, IAA, NHP, NHRS1, NHRS2, NHRS3, TF300, TFmax, tTF, tm, AFE0, TCTmax, Pleaf, TAFmaxHP, TAFmaxRS1, TAFmaxRS2, TAFmaxRS3, HIPA e HFPA) através do método de tentativa e erro, conforme realizado por Xue et al., (2004), Setiyono et al., (2008), Gabriel

et al. (2014) e Tironi et al., (2017). Essa técnica minimiza o RQME entre os valores observados e os estimados. Toda a programação utilizada está em linguagem Fortran com o uso do compilador Force - Versão 3.0.

3.1.3 Avaliação da cultivar Vassourinha em níveis tecnológicos

Os experimentos utilizados para avaliação com dados independentes seguiram o mesmo protocolo do experimento utilizado para calibração e foram realizados nos anos agrícola 2017/2018 e 2018/2019 (Tabela 1). No ano agrícola 2017/2018, os experimentos foram realizados na área experimental da Universidade Federal do Pampa (Campus Itaqui) e em uma lavoura comercial em Dilermando de Aguiar. Em 2018/2019, os experimentos foram conduzidos em lavoura comercial localizada no município de Ibarama e na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria (Campus Frederico Westphalen) (Figura 1).

Figura 1 – Mapa da América do Sul, Brasil (a) e do Estado do Rio Grande do Sul (b) com os locais utilizados para calibração do modelo Simanihot para a cultivar Vassourinha cultivadas nos níveis tecnológicos alto, médio e baixo (Júlio de Castilhos) e avaliação do modelo (Dilermando de Aguiar, Frederico Westphalen, Ibarama e Itaqui).



Fonte: Santos, 2020.

Tabela 1 – Conjunto de dados dos experimentos de níveis tecnológicos realizados para avaliação do modelo Simanihot.

Local	Data de Plantio	Data de Colheita	Solos
Dilermando de Aguiar	17/10/2017	20/06/2018	Argissolo Vermelho distrófico arênico
Itaqui	27/10/2017	05/06/2018	Plintossolo háplico
Frederico Westphalen	25/10/2018	20/06/2019	Latossolo Vermelho
Ibarama	16/10/2018	06/06/2019	Neossolo regolítico

Os plantios foram realizados em três “parcelões” (um para cada nível tecnológico) que constituíram uma parcela de 23,2 m de comprimento e 9,6 m de largura, composta de 12 linhas com 29 manivas cada, com 0,8 m de espaçamento entre plantas e 1,0 m entre linhas, totalizando 348 manivas de mandioca com 5 a 7 gemas em uma área total de 278,4 m², conforme realizado por TIRONI et al. (2014). O preparo do solo foi realizado de forma convencional para todos os níveis tecnológicos e em Itaqui pelo solo apresentar características de má drenagem (Tabela 1), foram construídos camalhões, nos quais foram realizados o plantio. No NTB o plantio foi realizado sem adição de adubo, enquanto que nos NTM e NTA a adubação foi realizada na base, de acordo com o recomendado para cada um dos níveis tecnológicos, utilizando a formulação de NPK 5-20-20, complementada com Superfosfato Simples e KCl e quando as plantas apresentavam entre 25 a 30 folhas foi aplicado o restante do nitrogênio recomendado a lanço, na forma de uréia. No NTA a aplicação do herbicida pré-emergente foi logo após o plantio.

Após o estabelecimento da cultura, foram realizadas coletas de 10 plantas mensalmente de cada parcelão, das quais foram contados os números hastes e de folhas em cada haste e medidos o comprimento de cada folha para o cálculo da área foliar. As plantas coletadas foram particionadas em raiz, caule e folhas e colocadas para secar em estufa a 60°C até atingir peso constante, que foram transformado em g m⁻². Também foram calculados diferentes processos utilizados para a modelagem dessa planta como o índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE) em cm² g⁻¹, fração haste/parte aérea. Foram observadas as datas de emergência (quando 50% das plantas estiverem visíveis acima do solo) e as datas das ramificações simpodiais (RS1, RS2 e RS3). Durante a colheita, foram coletados os dados de produtividade, massa fresca e massa seca das raízes (Mg ha⁻¹), produção de haste e folha (matéria seca, ton ha⁻¹).

O desempenho do modelo Simanihot para cada um dos níveis tecnológicos foi avaliado com as estatísticas raiz do quadrado médio do erro (RQME) (JANSSEN; HEUBERGER (1995), índice de concordância (dw) (WILLMOTT, 1981), eficiência do modelo (EF) (KIM et al., 2012), índice BIAS (LEITE; ANDRADE, 2002) e coeficiente de correlação (r) (WALLACH, 2006), conforme Tironi et al. (2017).

3.2. ENOS E NÍVEIS TECNOLÓGICOS

O modelo Simanihot foi a ferramenta utilizada para simular o crescimento e desenvolvimento da cultivar de mandioca Vassourinha no estado do Rio Grande do Sul nos três níveis tecnológicos (alto, médio e baixo). O estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a classificação climática de Köppen, possui clima do tipo Cfa e Cfb, úmido em todas as estações do ano, verão quente e moderadamente quente. Na maior parte do Estado predomina o clima Cfa e nas partes mais elevadas da Serra do Nordeste, Planalto e Serra do Sudeste se encontra o clima Cfb (KUINCHTNER; BURIOL, 2016).

Os locais selecionados para as simulações foram: Bagé, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Passo Fundo, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria, Santana do Livramento, São Luiz Gonzaga, Torres e Uruguaiana (Figura 2). Estes locais foram escolhidos considerando a presença de estações meteorológicas convencionais (Tabela 2), a disponibilidade de um banco de dados meteorológicos diários de mais de 50 anos fornecidos pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), e a possibilidade de cultivo de mandioca conforme o zoneamento agroclimático da cultura.

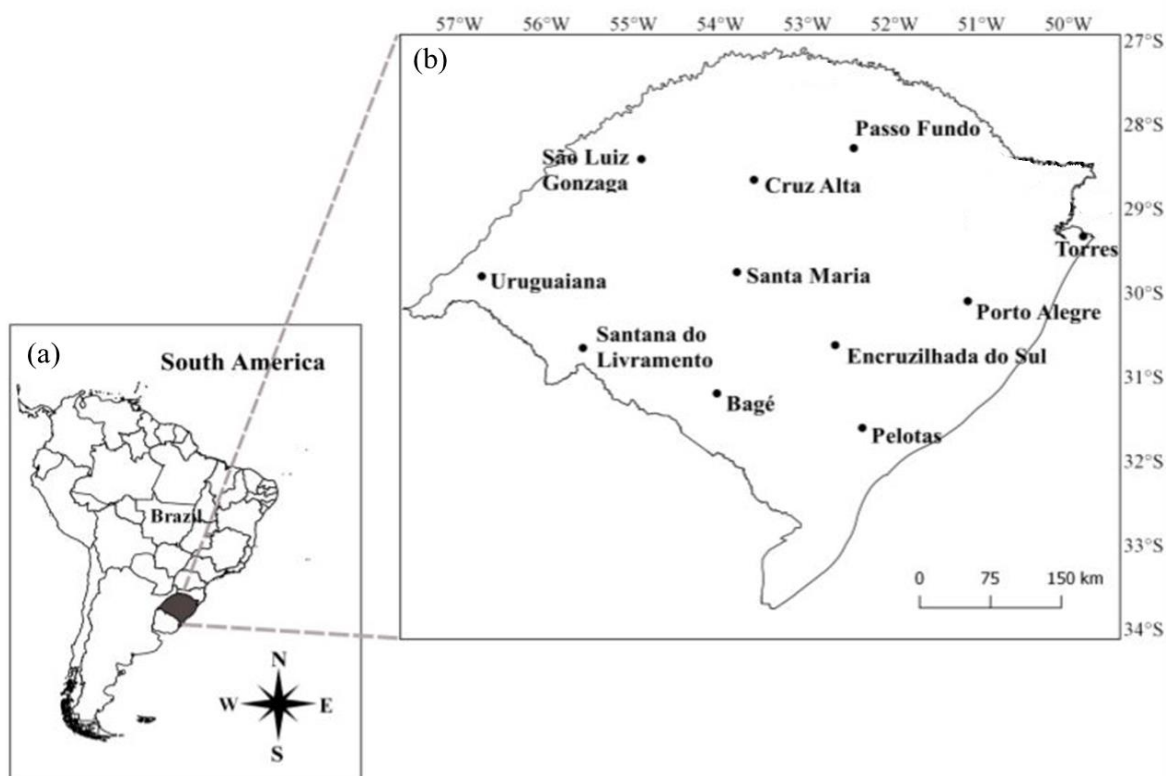
Tabela 2 – Estações meteorológicas convencionais com respectivas suas coordenadas geográficas e anos de dados observados que serão utilizados no estudo.

Localização	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Anos
Bagé	-31,33	-54,10	242	1961 a 2019
Cruz Alta	-28,63	-53,60	472	1961 a 2019
Encruzilhada do Sul	-30,53	-52,51	427	1961 a 2019
Passo Fundo	-28,22	-52,40	684	1961 a 2019
Pelotas	-31,78	-52,41	7	1961 a 2019
Porto Alegre	-30,01	-51,22	47	1961 a 2019
Santa Maria	-29,7	-53,7	95	1961 a 2019

Santana do Livramento	-30,83	-55,6	208	1961 a 2019
São Luiz Gonzaga	-28,40	-55,02	245	1961 a 2019
Torres	-29,35	-49,73	4	1961 a 2019
Urugaiana	-29,15	-57,08	74	1961 a 2019

Fonte: INMET (2019)

Figura 2 – Mapa da América do Sul, Brasil (a) e do Estado do Rio Grande do Sul (b) com as localidades das estações meteorológicas utilizadas neste estudo.



Fonte: Santos, 2020.

Os dados meteorológicos necessários para as simulações são a temperatura mínima, máxima e média do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m s^{-1}), radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e precipitação pluvial (mm). Entretanto, os dados de radiação disponibilizados pelo BDMEP estão em número de horas de brilho solar (h d^{-1}). Então, a partir de coeficientes mensais estimados por Bexaira (2018) para o Rio Grande do Sul foi calculada a radiação solar global pela equação de Angström-Prescott.

Os dados meteorológicos diários extraídos dessas estações apresentavam algumas falhas, havendo a necessidade de preenchê-las para realizar as simulações. Para o

preenchimento das falhas de 1980 a 2013 foram usados dados extraídos do estudo realizado por Xavier et al. (2016), onde foram utilizados os pontos mais próximos das estações meteorológicas para o preenchimento das falhas. E para as falhas de 1961 a 1979 e de 2013 em diante foram utilizadas as médias diárias dos anos neutros para preenchimento dos anos neutros, a média diária dos anos de El Niño para o preenchimento das falhas em anos de El Niño e a média diária dos anos de La Niña para o preenchimento das falhas em anos de La Niña.

Os anos com ocorrência do fenômeno ENOS (Tabela 3) foram determinados de acordo com o ONI, índice padrão utilizado pela NOAA (GOLDEN GATE WHEATHER SERVICES, 2017).

Tabela 3 – Classificação dos anos de acordo com a ocorrência do fenômeno ENOS.

Neutro	El Niño	La Niña
1961/1962	1963/1964	1964/1965
1962/1963	1965/1966	1967/1968
1966/1967	1968/1969	1970/1971
1978/1979	1969/1970	1971/1972
1980/1981	1972/1973	1973/1974
1981/1982	1976/1977	1974/1975
1983/1984	1977/1978	1975/1976
1985/1986	1979/1980	1984/1985
1989/1990	1982/1983	1988/1989
1990/1991	1986/1987	1995/1996
1992/1993	1987/1988	1998/1999
1993/1994	1991/1992	1999/2000
1996/1997	1994/1995	2000/2001
2001/2002	1997/1998	2007/2008
2003/2004	2002/2003	2010/2011
2005/2006	2004/2005	2011/2012
2008/2009	2006/2007	2016/2017
2012/2013	2009/2010	2017/2018
2013/2014	2014/2015	
	2015/2016	
	2018/2019	

Fonte: GOLDEN GATE WHEATHER SERVICES (2020)

O modelo foi rodado para 1044 safras para cada um dos 11 locais, de 1961 a 2019 em seis datas de plantio: 11/09 (primeiro dia indicado pelo zoneamento agroclimático para a cultura da mandioca), 01/10, 15/10, 30/10, 15/11 e 30/11 (último dia recomendado para o plantio), para os três níveis tecnológicos. A colheita foi programada para todas as simulações para o dia 15 de junho, independente da data de plantio, sendo realizada antes somente se a temperatura mínima do ar ficasse abaixo de 3°C, por 3 dias consecutivos, ocorrendo a morte da planta e a simulação é interrompida (TIRONI, 2017).

As simulações foram realizadas utilizando o modelo de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) que está acoplado no Simanihot e também por este modelo exigir menor número de variáveis de entrada relacionadas as características do solo a ser utilizado. Para utilização deste modelo de balanço hídrico foi necessário a identificação da unidade de mapeamento de solo (UM) predominante no local e apta para o plantio da cultura (Tabela 4). A partir das características do perfil modal e de uma função de pedotransferência do modelo Hydrus (SIMUNEK et al., 2013), foram estimados os conteúdos de água no solo nas tensões 10, 650 e 1500 kPa (Tabela 5).

Tabela 4 – Unidades de mapeamento dos solos do Rio Grande do Sul dos locais simulados e suas respectivas classificações de solo correspondentes no SiBCS (EMBRAPA, 2006).

Unidade de mapeamento	SiBCS
Santo Ângelo	Latossolo Vermelho Distroférico típico
Passo Fundo	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
Cruz Alta	Latossolo Vermelho Distrófico típico
São Pedro	Argissolo Vermelho Distrófico arênico
Gravataí	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico
Camaquã	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico
Santa Tecla	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico latossólico
Pituba	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrupto
Matarazo	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico
Livramento	Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico abrupto
Durasnal	Plintossolo Argilúvico Eutrófico petroplântico

Fonte: SiBCS (EMBRAPA, 2006).

Tabela 5 – Características das unidades de mapeamentos de solos dos locais usados nas simulações (profundidade da camada de solo, granulometria e conteúdo de água no solo nas tensões de 10, 650 e 1500 kPa dos perfis modais das unidades de mapeamento).

Local	U.M. correspondent e a SiBCS*	Prof. (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	$\Theta_{10 \text{ kPa}}$ (cm ³ .cm ⁻³)	$\Theta_{650 \text{ kPa}}$ (cm ³ .cm ⁻³)	$\Theta_{1500 \text{ kPa}}$ (cm ³ .cm ⁻³)
Bagé	Santa Tecla	0-25	75	13	12	0,225	0,074	0,066
		25-70	66	15	19	0,267	0,108	0,095
		0-13	70	9	21	0,268	0,113	0,100
Cruz Alta	Cruz Alta	13-35	70	8	22	0,271	0,117	0,103
		35-55	66	8	26	0,285	0,133	0,119
Encruzilhada do Sul	Camaquã	0-30	69	20	11	0,240	0,081	0,070
		30-42	56	24	20	0,286	0,112	0,098
		42-58	43	19	38	0,334	0,168	0,150
Passo Fundo	Passo Fundo	0-30	44	14	42	0,339	0,185	0,167
		30-50	41	14	45	0,349	0,195	0,177
		50-70	37	13	50	0,365	0,214	0,194
Pelotas	Matarazo	0-22	70	13	17	0,256	0,098	0,087
		22-35	47	10	43	0,336	0,192	0,174
		35-50	27	10	63	0,403	0,256	0,236
Porto Alegre	Gravataí	0-16	54	28	18	0,289	0,106	0,092
		16-35	50	25	25	0,304	0,125	0,110
		35-67	44	24	32	0,324	0,145	0,129
Santa Maria	São Pedro	0-25	73	12	15	0,243	0,088	0,077
		25-65	78	10	12	0,215	0,070	0,063
		65-100	60	11	29	0,296	0,144	0,129
Santana do Livramento	Livramento	0-25	81	11	8	0,177	0,054	0,050
		25-45	75	12	13	0,230	0,078	0,069
		45-60	62	13	25	0,286	0,129	0,115
São Luiz Gonzaga	Santo Ângelo	60-90	43	13	44	0,344	0,193	0,175
		0-40	13	25	62	0,425	0,239	0,216
		40-80	9	19	72	0,440	0,268	0,244
Torres	Pituba	80-120	9	17	74	0,442	0,273	0,250
		0-15	35	35	30	0,350	0,134	0,117
		15-37	27	23	50	0,384	0,205	0,184
Uruguaiana	Durasnal	37-74	20	17	63	0,415	0,249	0,227
		0-10	24	53	23	0,314	0,098	0,114
		10-50	29	44	28	0,387	0,109	0,126
		50-70	15	27	57	0,373	0,200	0,223

Fonte: Santos (2020).

As saídas dos resultados das simulações foram separadas de acordo com os anos de ocorrência do fenômeno ENOS e os dados de produtividade de raízes tuberosas foram transformados de massa seca para massa fresca. De acordo com Tagliapietra et al.(2018), as raízes tuberosas da cultivar Vassourinha possuem aproximadamente 65% de umidade, sendo multiplicado o valor de massa seca por 3,1 para a obtenção do valor em massa fresca.

Foram estimadas as diferença de produtividade do plantio realizado no primeiro dia indicado pelo zoneamento agroclimático (11 de setembro) e no último dia (30 de novembro)

para cada nível tecnológico e fase do fenômeno ENOS, visando identificar as perdas de produtividade por atraso no plantio e os locais com maiores perdas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

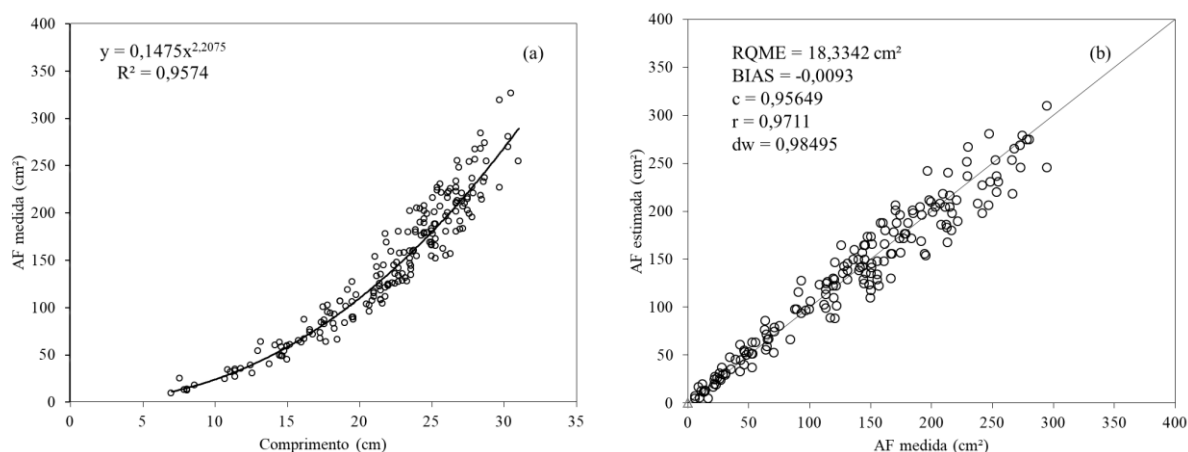
4.1 INCLUSÃO DA CULTIVAR VASSOURINHA EM NÍVEIS TECNOLÓGICOS NO MODELO SIMANIHOT

Os níveis tecnológicos foram introduzidos em uma das sub-rotinas no código do modelo Simanihot. O efeito no crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultivar de mandioca Vassourinha dos níveis tecnológicos foi modelado a partir da calibração de parâmetros que influenciam nestes processos. Um dos parâmetros calibrados está relacionado ao índice de área foliar, sendo assim necessário a estimativa de uma equação de área foliar da cultivar Vassourinha para a calibração.

4.1.1 Modelo matemático para estimativa da área foliar da cultivar Vassourinha

O modelo matemático relacionando o comprimento do folíolo central e a área foliar da das folhas de mandioca da cultivar Vassourinha obteve um ajuste de 95,74% (Figura 3a), indicando uma estreita relação entre as variáveis. O coeficiente de determinação (R^2) obtido pela equação estimada é maior do que os valores encontrados para equações estimadas por Guimarães et al. (2019) para diferentes genótipos de mandioca, para a cultivar IAC 576-70 (ZANETTI et al., 2017) e próximos valores obtidos por Silva et al. (2017) em estudo realizado para pornunça (*Manihot sp.*), que variaram de 0,9018 a 0,9606.

Figura 3 – Equação para cálculo da área de folhas individuais em função do comprimento do maior lóbulo na cultivar de mandioca Vassourinha (a) e a relação entre os valores reais e estimados de área de folhas individuais (b), em Santa Maria, RS, Brasil.



Fonte: SANTOS, 2020.

A análise dos resultados dos índices estatísticos utilizados para avaliação do desempenho da estimativa da área foliar (Figura 3b) sugere a utilização da equação proposta na Figura 3a para obtenção da área foliar da cultivar Vassourinha. Tal avaliação obteve valor de RQME com a regressão não linear de 18,3342cm², próximo do valor encontrado para algumas cultivares de soja, de 16,92 por Richter et al. (2014) e são menores do que os encontrados em estudos com girassol realizado por Maldaner et al. (2009), que variaram de 27,5 a 163 e feijão-vagem, que variaram de 12,56 a 39,94 (TOEBE et al., 2012). Quanto às outras estatísticas, *r*, *c* e *dw*, mostram valores maiores que 0,95, confirmando a elevada capacidade preditiva da equação.

A variabilidade do comprimento do lóbulo central das folhas de mandioca mensuradas possibilita melhor desempenho do modelo gerado, permitindo o uso deste modelo nos diferentes estágios de desenvolvimento das plantas. A utilização apenas de uma medida biométrica também facilita a aplicação deste modelo, por demandar menos tempo na coleta dos dados a campo em relação a equações que demandam medidas de comprimento e largura, corroborando com Maldaner et al. (2009). Estudos realizados por Schons et al. (2009) com a cultivar Fepagro-RS13 e por Tironi et al. (2014) com as cultivares Fepagro-RS13, Fepagro-RS14, Estrangeira, Cascuda e Fécula Branca também utilizaram o comprimento do lóbulo principal das folhas de mandioca para estimar a área foliar. Portanto, a utilização da equação proposta neste estudo está apta a ser usada para estimar a área foliar de plantas da cultivar Vassourinha.

4.1.2 Calibração de parâmetros do modelo Simanihot para a cultivar Vassourinha em níveis tecnológicos

Os parâmetros calibrados para a cultivar Vassourinha em três níveis tecnológicos (Tabela 6) apresentaram valores diferentes entre os níveis para a maioria dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento. Em geral, alguns parâmetros tiveram valores maiores e outros menores dos parâmetros padrões dados em Matthews e Hunt (1994) e os obtidos por Tironi et al. (2017) para algumas cultivares de mandioca calibradas para as condições do Estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 6 – Parâmetros do modelo Simanihot calibrados para a cultivar Vassourinha nos níveis tecnológicos alto, médio e baixo.

Parâmetro*	NTA	NTM	NTB
PE	6,997	6,997	6,997
RS1	70	70	70
RS2	200	200	200
RS3	200	200	200
IAA	20,75	20,75	20,75
NHP	2	1,8	1,5
NHRS1	2	2	2
NHRS2	2,65	2,65	2,65
NHRS3	2,65	2,65	2,65
TF ₃₀₀	45	35	25
TF _{Max}	331	320	300
t _{TF}	90	100	100
Tm	18	18	17
AFE ₀	240	200	210
TCTmax	35	30	25
P _{leaf}	170	160	140
TAFmaxHP	1,0122	0,75	0,975
TAFmaxRS1	1,72	1,25	1,15
TAFmaxRS2	1,926	1,926	1,926
TAFmaxRS3	1,926	1,926	1,926
HIPA	0,4	0,48	0,35
HFPA	0,77	0,57	0,6

*NTA (Nível tecnológico alto); NTM (Nível tecnológico médio); NTB (Nível tecnológico baixo); PE (Tempo de desenvolvimento entre plantio e emergência, Dd); RS1 (Tempo de desenvolvimento entre a emergência e primeira ramificação simpodial, Dd); RS2 (Tempo de desenvolvimento entre a emergência e segunda ramificação simpodial, Dd); RS3 (Tempo de desenvolvimento entre a emergência e terceira ramificação simpodial, Dd); IAA (Tempo de desenvolvimento entre a emergência e início de acumulação de amido, Dd); NHP (Número de hastes principais); NHRS1 (Número de hastes na RS1); NHRS2 (Número de hastes na RS2); NHRS3 (Número de hastes na RS3); TF₃₀₀ (Tamanho de folha aos 300 dias após emergência (DAE), cm²); TF_{max} (Tamanho máximo de folha, cm²); t_{TF} (Tempo em dias após a emergência que o TF_{max} é alcançado); tm (Coeficientes de forma na equação do tamanho de folha); AFE₀ (Área foliar específica para um determinado nível tecnológico a uma temperatura normal de 24°C e sem estresse hídrico, cm² g⁻¹); TCTmax (Taxa de crescimento máximo da cultura, g m⁻² dia); P_{leaf} (Máxima longevidade foliar, dias); TAFmaxHP (Taxa máxima de aparecimento de folhas na haste principal); TAFmaxRS1, TAFmaxRS2, TAFmaxRS3 (Taxa máxima de aparecimento de folhas na RS1, RS2, RS3); HIPA (Razão haste/parte aérea inicial); HFPA (Razão haste/parte aérea final); Dd (Tempo de desenvolvimento).

A cultivar Vassourinha quando cultivada nos três níveis tecnológicos (Figura 4, 5 e 6) apresentou o período de desenvolvimento até a emergência (PE), IAA e RS1 semelhante nos três níveis tecnológicos, conseqüentemente os valores dos parâmetros correspondentes a esses estágios de desenvolvimento são iguais. Isso ocorreu devido a emergência não ser

influenciada pelas técnicas de manejo empregadas no início do ciclo e sim pela disponibilidade de umidade no solo e temperatura do ar. E quanto à ramificação, a cultivar Vassourinha tende a começar a ramificar no final do ciclo, quando a temperatura do ar começa a diminuir em virtude a chegada do inverno. Tironi et al. (2017) ao calibrar as cultivares Fepagro-RS14 e Cascuda para a primeira versão do modelo Simanihot, obteve valores menores de RS1, devido essas cultivares emitirem as ramificações simpodiais no início do ciclo da cultura.

As plantas foram conduzidas em crescimento livre, sendo definido um número de hastes médio em cada nível tecnológico. Definido o número de hastes, seguiu-se a calibração do número de folhas totais acumuladas, que é influenciado pelos parâmetros TAFmaxHP, TAFmaxRS1, TAFmaxRS2, TAFmaxRS3. A maioria das plantas não chegaram a emitir a segunda e a terceira ramificação simpodial, dessa forma os valores de TAFmaxRS2, TAFmaxRS3 são fixos nos três níveis tecnológicos.

Os valores calibrados para a TAFmaxHP são menores do que os encontrados para TAFmaxRS1, mostrando que as folhas das hastes principais precisam de menos tempo para surgir do que as folhas originárias nas ramificações simpodiais, corroborando com os estudos realizados para a cultivar Fepagro-RS13 por Fagundes et al. (2009). Os valores de TAFmaxHP e TAFmaxRS1 variaram conforme os níveis tecnológicos, mostrando que a velocidade de emissão de folhas também é influenciada pelo manejo empregado na lavoura de mandioca e não apenas pelo genótipo. O NTM teve o menor valor de TAFmaxHP, ficando abaixo do valor mínimo estimado por Matthews e Hunt (1994) para este parâmetro e dos estimados por Tironi et al. (2017) para outras cultivares de mandioca. Isso, devido o NTM possuir um número maior de haste que o NTB, e número de folhas ser o produto do número de hastes e folhas da planta.

Os parâmetros TF_{300} , TF_{max} , t_{TF} e t_m atuam no cálculo do tamanho de folha e seus valores foram diferentes nos três níveis tecnológicos, sendo que no NTA os valores foram mais altos por apresentarem maiores valores de IAF. Todos os outros parâmetros relacionados com tamanho de folha foram calibrados buscando ajustar o IAF, deixando a curva com valores de IAF simulado o mais próximo do IAF observado (Figura 4f, 5f e 6f), assim como TIRONI et al. (2017) fez para ajustar o IAF das outras cultivares que estão no modelo Simanihot. Os valores de TF_{max} obtidos para a cultivar Vassourinha nos três níveis tecnológicos foram maiores do que os valores encontrados para as cultivares Fepagro - RS14

e Cascuda e menores do que os obtidos para as cultivares São José, Estrangeira e Paraguaia (TIRONI et al., 2017).

Os próximos parâmetros ajustados, HIPA e HFPA, influenciaram diretamente no crescimento de hastes. O parâmetro HIPA é responsável pelo particionamento de fotoassimilados entre hastes e folhas no início do ciclo da cultura, enquanto que HFPA influencia no particionamento entre crescimento de hastes e raízes após o início da acumulação de amido. Os valores ajustados para HIPA não variou muito entre os níveis tecnológicos, enquanto que para HFPA, o NTA teve um valor mais alto e o NTM o menor valor. O último parâmetro calibrado foi o TCTmax, responsável pelo crescimento total da planta (Figura 4d, 5d e 6d). O TCTmax obtido nos níveis tecnológicos apresentou valores decrescentes, assim como em outros parâmetros, onde o NTA foi calibrado com valor mais alto, seguido do NTM e NTB.

Figura 4 – Calibração dos parâmetros e processos de desenvolvimento e crescimento para a cultivar Vassourinha no nível tecnológico alto. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

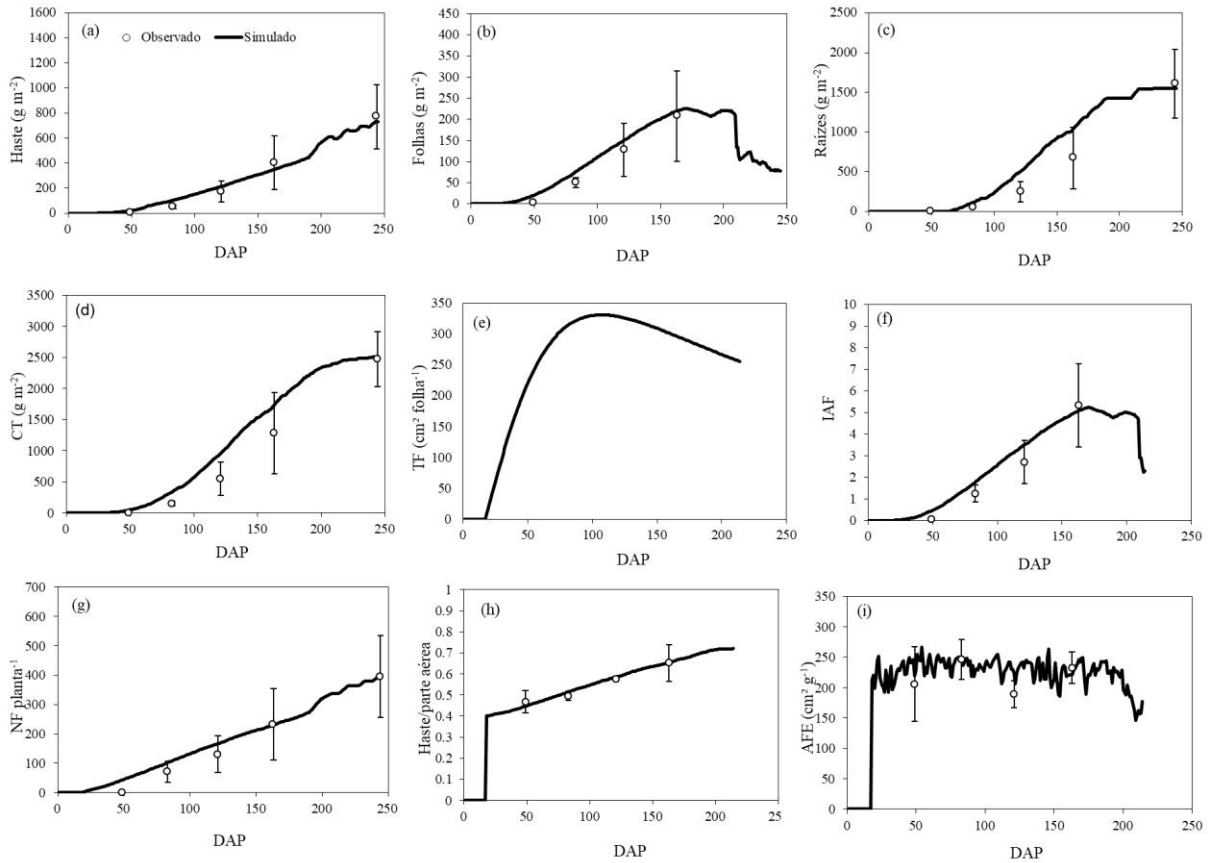


Figura 5 – Calibração dos parâmetros e processos de desenvolvimento e crescimento para a cultivar Vassourinha no nível tecnológico médio. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

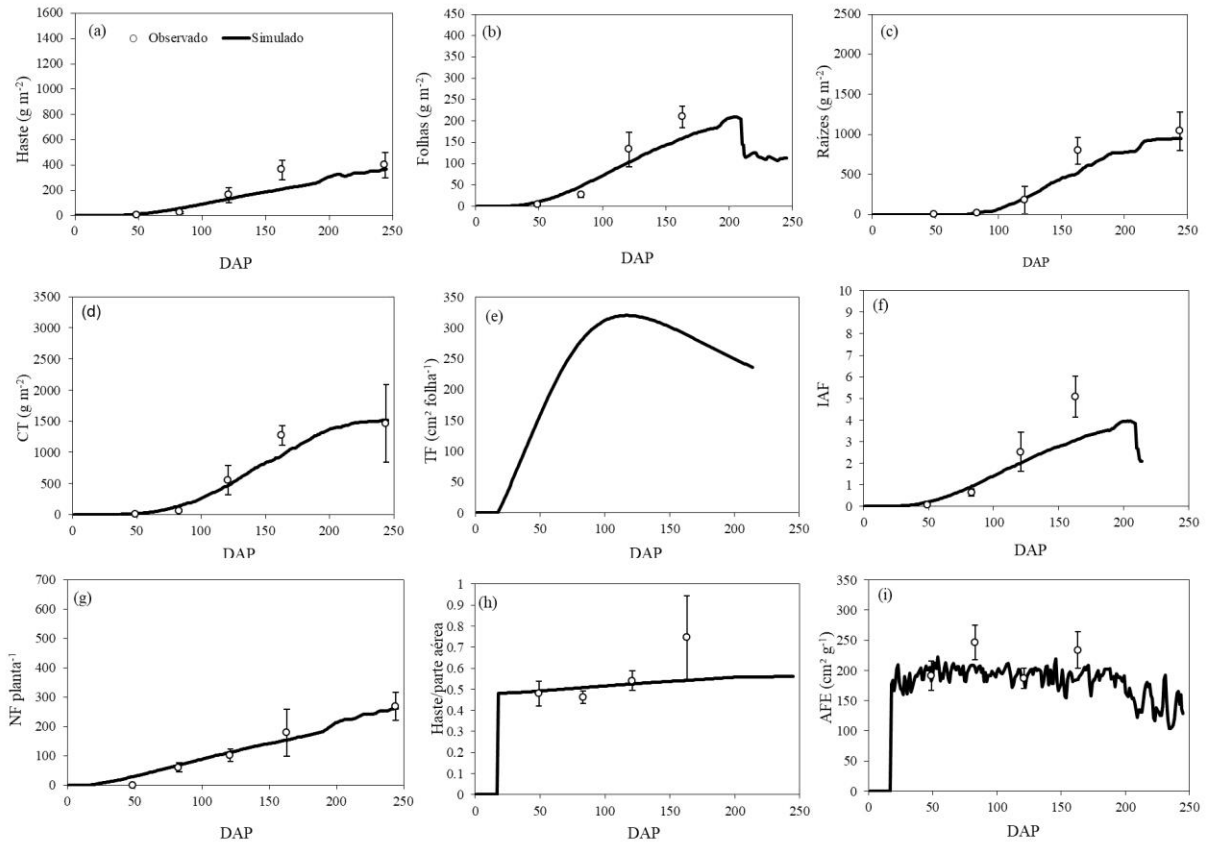
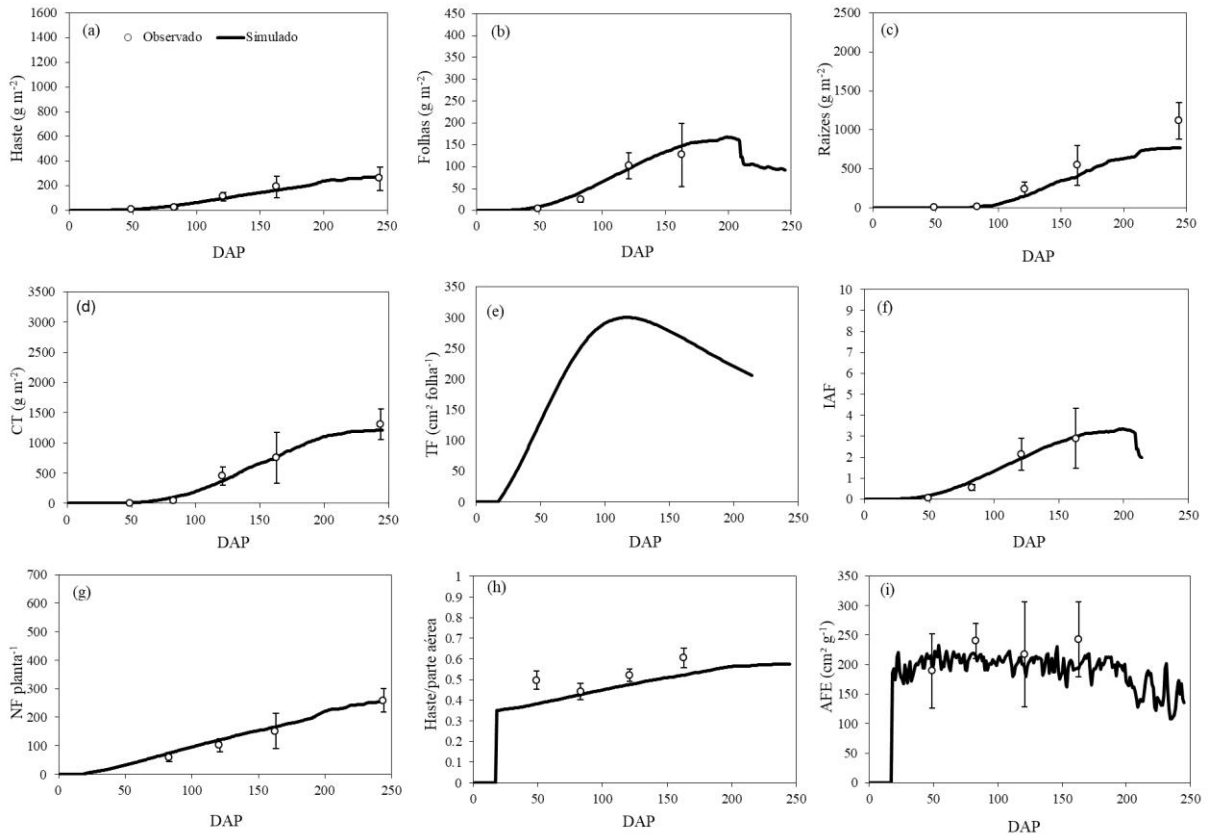


Figura 6 – Calibração dos parâmetros e processos de desenvolvimento e crescimento para a cultivar Vassourinha no nível tecnológico baixo. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).



4.1.3 Avaliação da cultivar Vassourinha em níveis tecnológicos

Para os quatro locais avaliados (Dilermando de Aguiar, Frederico Westphalen, Ibarama e Itaquí), o NTA apresentou maiores produtividades de raízes tuberosas, hastes e folhas. O NTM apresentou valores medianos entre o NTA e NTB, sendo que as menores produtividades foram obtidas no NTB (Figura 20). Esses resultados podem estar associados ao manejo no NTA oferecer nutrientes necessários para o pleno desenvolvimento das plantas de mandioca, como também a realização do controle de plantas de daninhas, deixando as plantas livre de interferências. Assim, a falta de adubação e a ocorrência de plantas daninhas são os dois principais fatores que limitaram as produtividades nos NTM e NTB.

As avaliações realizadas para o NTA (Figura 8, 9, 10 e 11) tiveram bom desempenho do modelo. Simulação realizada no NTA para Dilermando de Aguiar mostra que a produção de massa seca de haste (Figura 8a) simulada no final do ciclo foi maior que a observada, com uma RQME $355,40 \text{ g m}^{-2}$, mas devido no meio da estação de crescimento a produção simulada ser menor que a observada, o índice BIAS apresentou um baixo valor, indicando que a produção de haste está sendo um pouco superestimada. As avaliações para produção de haste em Itaquí (Figura 9a), Frederico Westphalen (Figura 10a) e Ibarama (Figura 11a) seguiram a mesma tendência durante o ciclo, obtendo RQME, respectivamente de 537,66, 468,25, 268,53 g m^{-2} .

A produção de folhas simulada no NTA seguiu a mesma tendência da produção observada nos quatro locais avaliados (Figura 8b, 9b, 10b e 11b), mas no final da estação de cultivo a produção de folhas simuladas não reduziu com baixas temperaturas do ar (Figura 7). Assim, a produção de folhas avaliada no NTA em Dilermando de Aguiar (Figura 8b) e Ibarama (Figura 11b) tiveram os menores valores de RQME, 29,64 e 45,27 g m^{-2} , com dw, EF e r maiores de 0,85, enquanto que em Itaquí (Figura 9b) e Frederico Westphalen (Figura 10b), os valores de RQME foram 85,89 e 127,68 g m^{-2} , respectivamente, resultando em valores baixos das estatísticas dw, EF e r.

No NTA, a produção raízes tuberosas (Figura 8c, 9c, 10c, 11c e 20) tiveram um bom ajuste para todos os locais avaliados, apresentando valores de RQME entre 151,16 a 306,48 g m^{-2} , e valores de dw, EF e r acima de 0,89. Itaquí foi o único local que apresentou a produtividade final simulada menor que a observada (Figura 9c e 20), entretanto, durante o ciclo houve períodos que os valores simulados foram maiores que os observados.

O crescimento total da planta é um somatório da produção de haste, folhas e raízes (TIRONI et al., 2017). A produção de haste, folhas e raízes foram superestimada em todos os locais avaliados para o NTA, logo o crescimento total simulado também foi superestimado, sendo Dilermando de Aguiar com 520,03 g m² (Figura 8d) e Ibarama com 652,49 g m² (Figura 11d), os valores mais baixos de RQME, enquanto que Itaqui (Figura 9c) e Frederico (figura 10c) obtiveram valores mais elevados de RQME a 937,9 e 1008,61 g m².

Ao comparar os valores de IAF simulados com os observados no NTA percebe-se que não ocorreu senescência das folhas no final do ciclo nas simulações, deixando o IAF com valores elevados, ao contrário do que ocorreu no campo (Figura 8f, 9f, 10f e 11f). Os valores simulados de IAF para Dilermando de Aguiar (Figura 8f), Frederico Westphalen (Figura 10f) e Ibarama (Figura 11f) seguem a mesma tendência que os dados observados, entretanto foram superestimados, apresentando principalmente para Itaqui (Figura 9f) valores elevados de RQME de 2,58 e índice BIAS de 1,19.

O número de folhas simulado com o NTA para os quatro locais avaliados (Figura 8g, 9g, 10g e 11g) mostraram a mesma tendência da produção de haste, superestimativa no final da estação de crescimento, sendo mais acentuada em Itaqui (Figura 9g) com RQME de 217,87 folhas e, conseqüentemente, a EF do modelo foi negativa, -0,19. É importante ressaltar que em Itaqui as plantas tinham menor porte e número de folhas ao comparar com os outros locais avaliados, isso pode ter ocorrido devido as temperaturas altas na Fronteira Oeste (Figura 7) terem limitado o crescimento da parte aérea, para que as plantas evitassem a perda de água para o ambiente pelo processo de transpiração que ocorre nas folhas.

As avaliações realizadas no NTM mostram que houve uma pequena subestimativa dos valores simulados da produção de haste para Dilermando de Aguiar (Figura 12a), obtendo índice BIAS negativo de -0,43 e RQME de 236,84 g m⁻². Para Frederico Westphalen, a avaliação do modelo teve um bom desempenho para a produção de hastes no NTM (Figura 14a) mostrando baixo valor de RQME, 64,22 g m⁻² e índices estatísticos acima de 0,94. Contudo, Itaqui (Figura 13a) e Ibarama (Figura 15a) apresentaram superestimativa dos valores simulados de produção de haste, com índice BIAS de 1,83 e 2,54, respectivamente, resultando em valores negativos de EF.

A produção de folhas no NTM mostrou superestimativa dos valores simulados, principalmente no final da estação de cultivo (Figura 12b, 13b, 14b e 15b). Em Dilermando de Aguiar, durante o ciclo da cultura a produção de haste simulada apresentou valores menores que os observados, mas no final do ciclo ocorreu uma inversão, onde os dados simulados

ficaram acima dos observados (Figura 12b). A produção de folhas em Frederico Westphalen teve bom desempenho durante todo o ciclo (Figura 14b), mostrando uma leve superestimativa apenas no final da estação de cultivo, obtendo dw , EF e r maiores que 0,9. Itaquí (Figura 13b) e Ibarama (Figura 15b) não mostraram um bom desempenho na produção de folhas, apresentando valores simulados bem maiores que os observados durante o ciclo da cultura, com RQME de 107,14 e 116,37 $g\ m^{-2}$, respectivamente, valores negativos de EF e baixos valores de dw e r .

O desempenho do modelo no NTM para a produção de raízes tuberosas variou conforme os locais avaliados (Figura 20). A produção de raízes simulada para Dilermando de Aguiar foi superestimada durante todo o ciclo, porém os valores simulados apresentaram a mesma tendência que os valores observados durante o experimento a campo (Figura 12c). Itaquí (Figura 13c) e Frederico Westphalen (Figura 14c) mostraram bom desempenho do modelo para a produção de raiz, com baixos valores de RQME (97,8 $g\ m^{-2}$ para Frederico Westphalen e 108,21 $g\ m^{-2}$ para Itaquí). Apesar disso, a produtividade de raízes tuberosas foi subestimada em Frederico Westphalen e levemente superestimada em Itaquí. Em Ibarama houve superestimativa durante toda a estação de cultivo (Figura 15c), obtendo RQME de 243,34 $g\ m^{-2}$ e índice BIAS de 0,77.

A avaliação do crescimento total também foi variável no NTM. Dilermando de Aguiar obteve valores simulados subestimados de crescimento total durante todo o ciclo, assim como produção de folhas, hastes e raízes tuberosas (Figura 12d). O crescimento total simulado para Frederico Westphalen (Figura 14d) apresentou uma ligeira superestimativa no final do ciclo, obtendo RQME de 267,83 $g\ m^{-2}$ e índices estatísticos maiores que 0,9. Enquanto que Itaquí (Figura 13d) e Ibarama (Figura 15d) tiveram dados simulados superestimados, obtendo baixos valores de EF , 0,54 e -0,88, respectivamente, e altos valores de RQME, 568,41 $g\ m^{-2}$ para Itaquí e 656,54 $g\ m^{-2}$ para Ibarama.

O IAF no NTM simulado para Dilermando (Figura 12f) mostrou valores inferiores aos observado no meio do ciclo da cultura, porém os valores simulados no início e no fim do ciclo foram semelhantes aos observados, obtendo RQME de 1,06, índice BIAS de -0,3, índice dw , EF e r maiores que 0,9. Em Itaquí (Figura 13f), o IAF foi superestimado durante todo o ciclo, principalmente no final, onde apresentou valores simulados bem maiores que os observados, consequentemente, obteve valores negativos para EF (-0,85), índice BIAS de 1,64 e RQME de 1,72. O IAF simulado para Frederico Westphalen teve bom desempenho até 150 DAP, depois desse período os valores simulados foram superiores aos observados, elevando o

RQME a 1,94 e reduzindo a EF a -0,37 (Figura 14f). Para Ibarama o IAF simulado no NTM apresentou a mesma tendência que os dados observados até 150 DAP (Figura 15f), a partir desta data o IAF simulado aumentou ao invés de reduzir devido às baixas temperaturas do ar, como pode ser observado na figura 7. Dessa forma, os valores simulados superestimados de IAF para Ibarama, resultaram em RQME de 1,72, índice BIAS de 1,64 e EF de -0,85.

O desempenho do modelo no NTM para o número de folhas em Dilermando de Aguiar foi bom com EF igual a 0,98, mostrando uma ligeira subestimativa dos dados simulados no meio do ciclo, mas valores semelhantes de número de folhas no início e no final da estação de cultivo (Figura 12g). Da mesma forma que os outros parâmetros avaliados para Itaquí no NTM, o número de folhas simulado foi superestimado no final do ciclo (Figura 13g), apresentando RQME de 127,83 folhas, EF de 0,44 e índice BIAS de 0,81. O número de folhas simulado para Ibarama (Figura 15g) também foram superestimados, apresentando RQME de 127,83 folhas e baixo valor de EF (0,44).

A avaliação do NTB foi variável conforme os locais avaliados. Em Dilermando de Aguiar (Figura 16a) e Frederico Westphalen (Figura 18a), o índice BIAS (-0,44 e -0,48, respectivamente) aponta que o modelo simulado para o NTB subestimou as produtividades de haste, com RQME de 172,72 g m⁻² e 184,12 g m⁻², porém os valores simulados seguem a mesma tendência que os valores observados a campo. A produtividade de haste simulada para Itaquí (Figura 17a) e Ibarama (Figura 19a), contrapondo os outros locais avaliados, apresentaram valores simulados superestimados, com índice BIAS de 1,71 e 2,87, respectivamente, e baixos valores de EF.

No NTB a produtividade de folhas simulada para Dilermando de Aguiar ficou próximo dos valores observados a campo durante quase toda estação de cultivo (Figura 16b). Contudo, no final do ciclo o modelo não penalizou a massa seca de folhas pelas baixas temperaturas, no mesmo momento que estava ocorrendo no campo, resultando em superestimativa dos valores simulados. Itaquí (Figura 17b), Frederico Westphalen (Figura 18b) e Ibarama (Figura 19b) apresentaram superestimativa da produtividade de folhas simulada durante todo o ciclo, por conseguinte, valores próximos a zero ou negativos de EF e índice BIAS de 1,91, 1,34 e 1,18 respectivamente.

A produtividade de raízes no NTB mostrou-se variável, conforme local avaliado (Figura 20). Em Dilermando de Aguiar, a produtividade de raízes tuberosas foi subestimada durante todo o ciclo da cultura (Figura 16c). Neste local, as plantas apresentavam grande vigor, provavelmente devido o solo ser mais arenoso e ter uma densidade menor de plantas

daninhas, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento de raízes tuberosas, quando comparado aos outros locais em que foram conduzidos os experimento de níveis tecnológicos. A produtividade de raízes no NTB simulada para Itaquí foi ligeiramente superestimada, apresentando RQME de $69,46 \text{ g m}^{-2}$, índice BIAS de 0,2, dw, EF e r maiores que 0,95(Figura 17c). Frederico Westphalen também apresentou bom desempenho para produtividade de raízes tuberosas no NTB (Figura 18c), entretanto, mostrou uma leve superestimativa dos valores simulados durante o ciclo, resultando num índice BIAS de 0,42 e RQME de $178,25 \text{ g m}^{-2}$. Em Ibarama, a produtividade de raízes tuberosas simulada para o NTB apresentou valores superiores durante o todo o ciclo, resultando em índice BIAS igual a 2 e EF de 1,33 (Figura 19c). A baixa produtividade de raízes no NTB em Ibarama pode estar relacionada a maior interferência das plantas daninhas, como também a restrição física do solo.

No NTB, a avaliação do crescimento total simulado para Dilermando de Aguiar (Figura 16d) resultou em pequena subestimativa dos valores simulados durante a estação de cultivo (índice BIAS = -0,27), apresentando RQME de $286,9 \text{ g m}^{-2}$, EF igual a 0,97, dw de 0,94 e r igual a 0,96. Contudo, os valores simulados de crescimento total para Itaquí (Figura 17d), Frederico Westphalen (Figura 18d) e Ibarama (Figura 19d) foram maiores que os observados, consequência dos valores superestimados de produtividade de folhas, hastes e raízes tuberosas. Dessa forma, Itaquí, Frederico e Ibarama atingiram, respectivamente, RQME de $395,18 \text{ g m}^{-2}$, $406,47 \text{ g m}^{-2}$, $607,77 \text{ g m}^{-2}$, índice BIAS de 0,87, 0,66 e 2,44, porém alta correlação entre os valores simulados e observados, com r maior que 0,9 para os três locais avaliados.

O IAF no NTB apresentou resposta semelhante a produtividade de folhas, já que estas variáveis de crescimento estão correlacionadas. Dessa forma, Dilermando de Aguiar (Figura 16f) obteve dados semelhantes ao observados no início e final do ciclo, enquanto que durante a estação de cultivo os valores simulados foram subestimados. As avaliações realizadas para Itaquí (Figura 17f), Frederico (Figura 18f) e Ibarama (Figura 19f) mostram por meio do índice BIAS (2,17; 1,29; e 0,77, respectivamente) que o IAF simulado foi superestimado.

O número de folhas simulado no NTB para Dilermando de Aguiar apresentou bom desempenho do modelo, com EF e r igual a 1,0, mostrando uma ligeira subestimativa dos dados simulados no último dia de observação, com índice BIAS de -0,08 (Figura 16g). Da mesma forma que os outros parâmetros avaliados para Itaquí no NTB, o número de folhas simulado foi superestimado, principalmente no final do ciclo (Figura 17g), apresentando

RQME de 96,28 folhas, dw igual a 0,79, EF de 0,69, índice BIAS de 0,74 e r de 0,98. O número de folhas simulado para Ibarama (Figura 19g) também foi superestimado, apresentando RQME de 98,71 folhas e baixo valor de EF (-3,08).

Em geral, a avaliação da produtividade de raízes tuberosas da cultivar Vassourinha cultivada em três níveis tecnológicos (NTA, NTM e NTB), para todos os locais resultou em 6,66 Mg ha⁻¹ de RQME, apresentando uma ligeira superestimativa (índice BIAS = 0,09). Esse valor de RQME foi superior ao relatado por Tironi et al. (2017) para as outras cultivares de mandioca presentes no modelo Simanihot (2,28 Mg ha⁻¹). Como observado nas avaliações e na figura 20, os NTM e NTB são os que apresentam maiores erros, pois são os que apresentam mais fatores que não são controlados, como características físico-químicas do solo e população de plantas daninhas. A interação desses fatores podem ser impedimentos que mostram o porque da maioria dos modelos agrícolas estarem calibrados apenas para simulações a nível potencial.

Como a cultivar Vassourinha é uma planta de porte grande, com número de hastes e ramificações variáveis, há uma grande variabilidade nos valores observados nos experimentos, que podem ter resultado em superestimação dos parâmetros relacionados a parte aérea das plantas de mandioca, corroborando com o que foi observado por Tironi et al. (2017) para a cultivar forrageira Fepagro - RS 14.

Figura 7 – Dados diários de temperatura mínima e máxima (°C) (a, c, e, g, i), radiação solar (MJ m² dia⁻¹) e precipitação (mm) (b, d, f, h, i) de Júlio de Castilhos (a, b), Dilermando de Aguiar (c, d), Itaquí (e, f), Ibarama (g, h), Frederico Westphalen (i, j) durante a estação cultivo dos experimentos de níveis tecnológicos na cultura da mandioca.

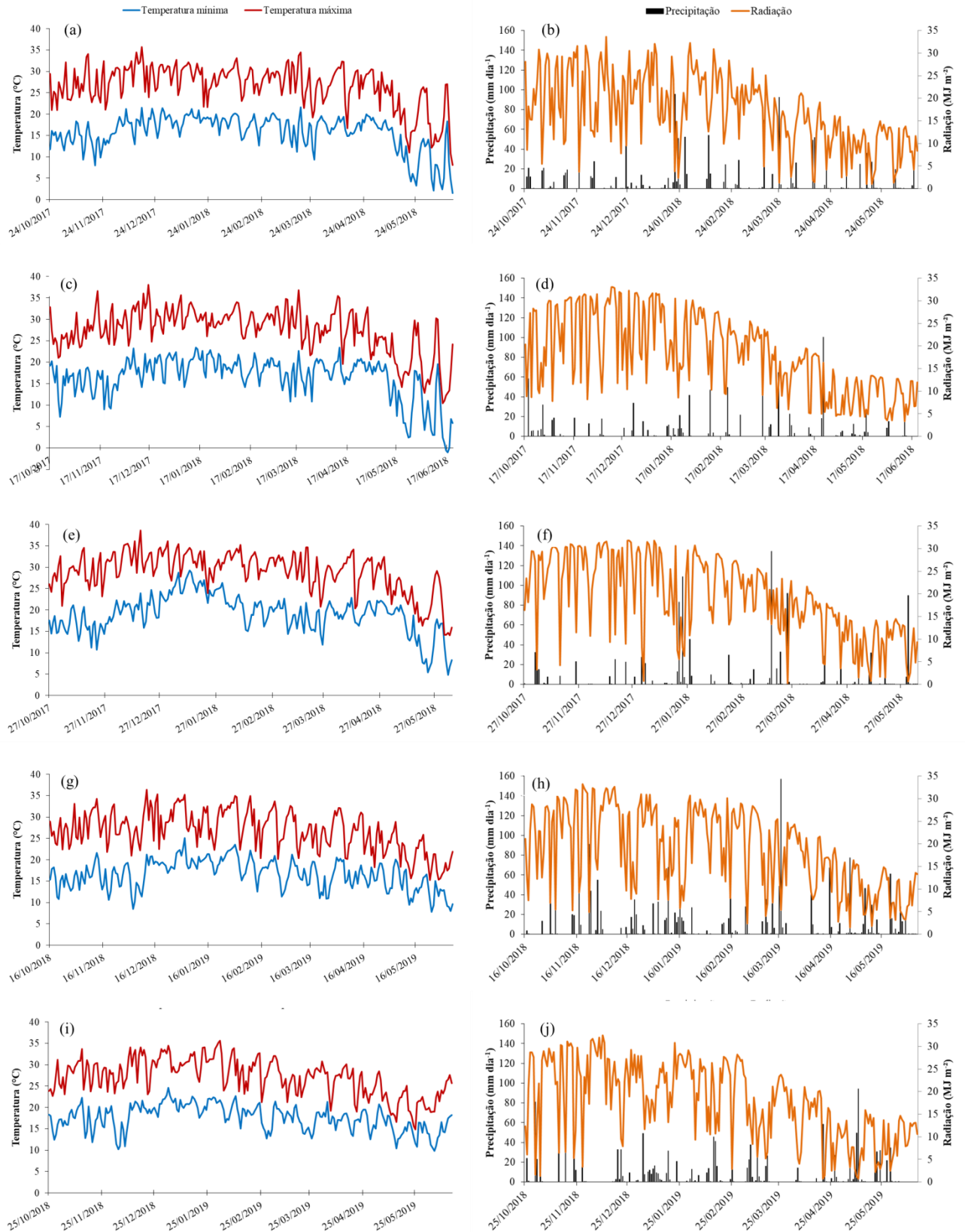


Figura 8 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico alto, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Dilermando de Aguiar/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

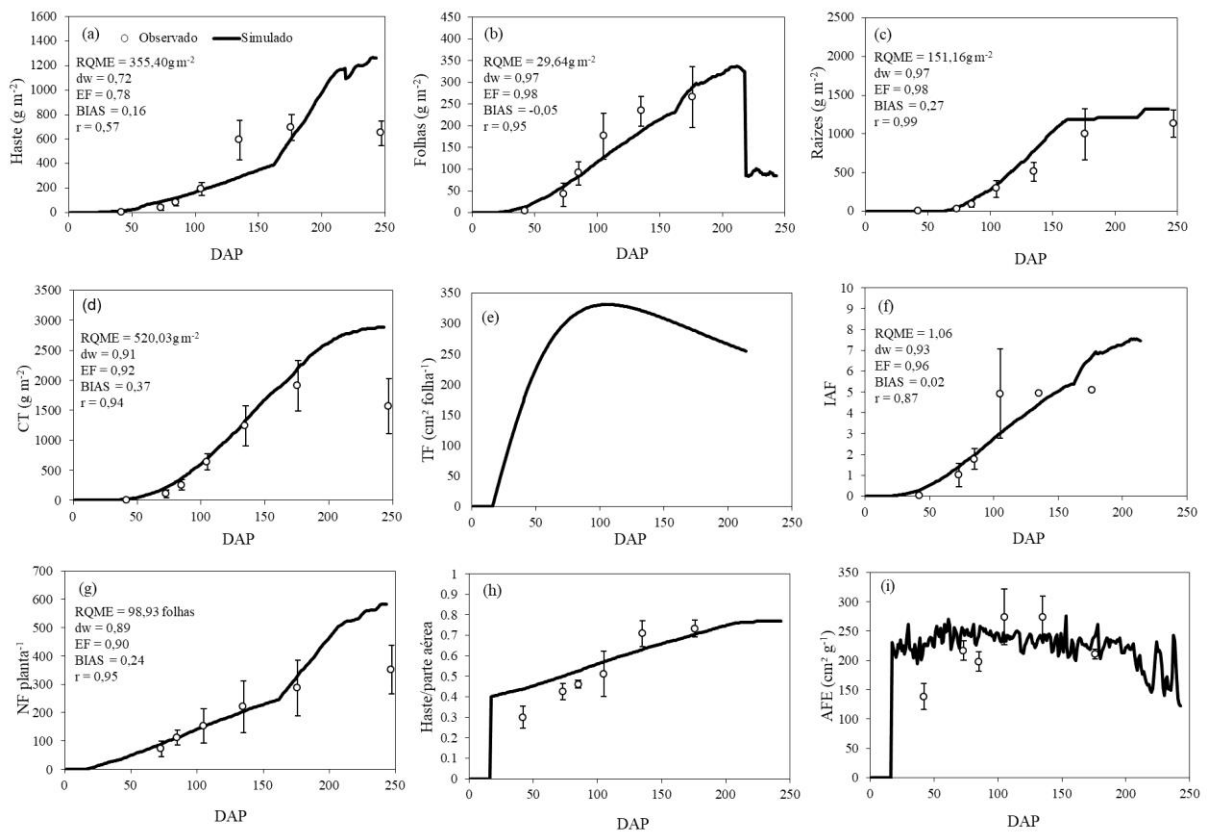


Figura 9 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico alto, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Itaqui/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

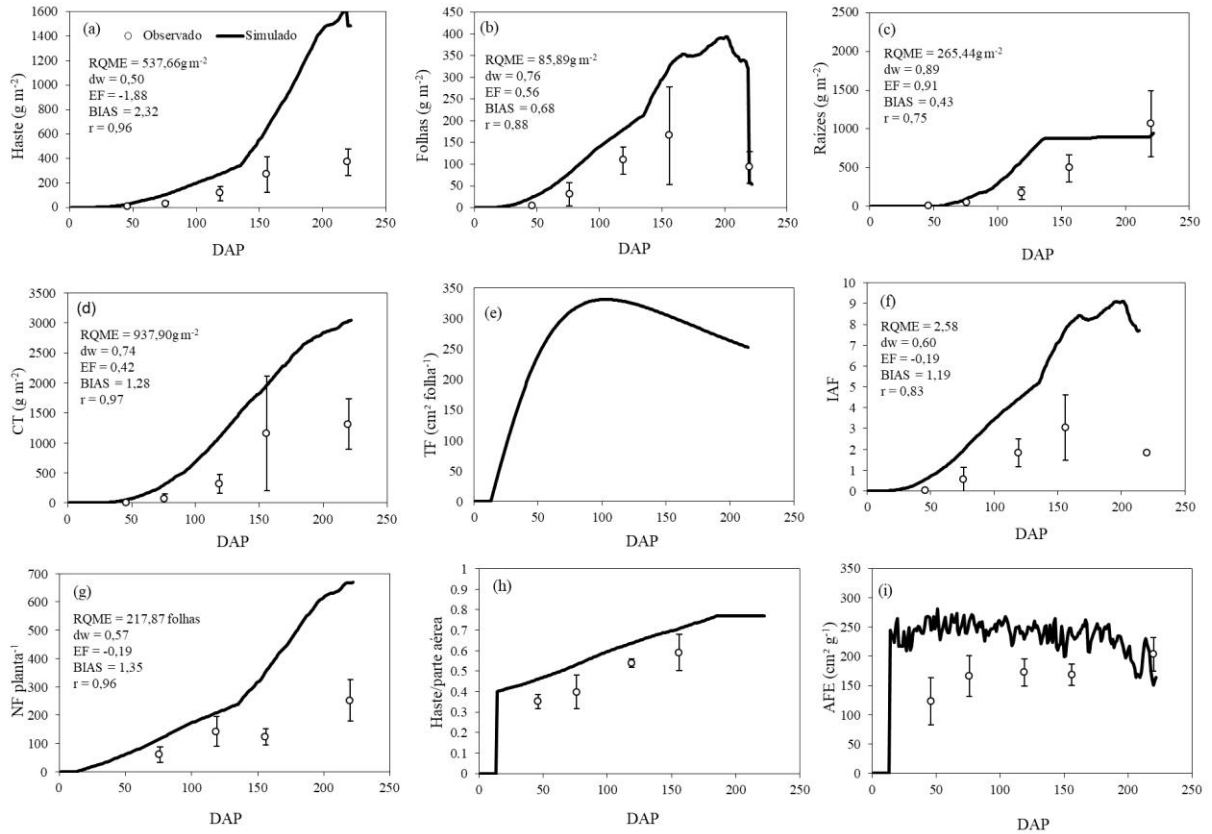


Figura 10 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico alto, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Frederico Westphalen/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

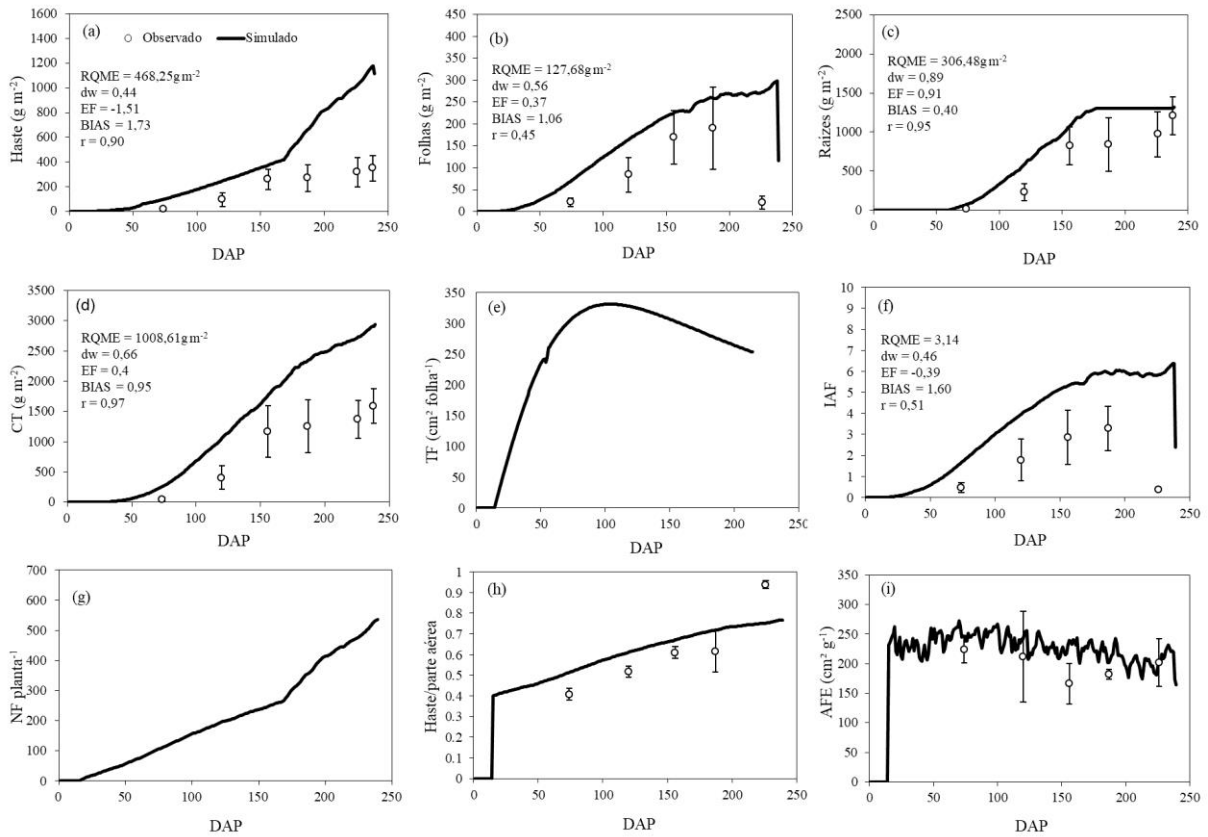


Figura 11 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico alto, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Ibarama/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

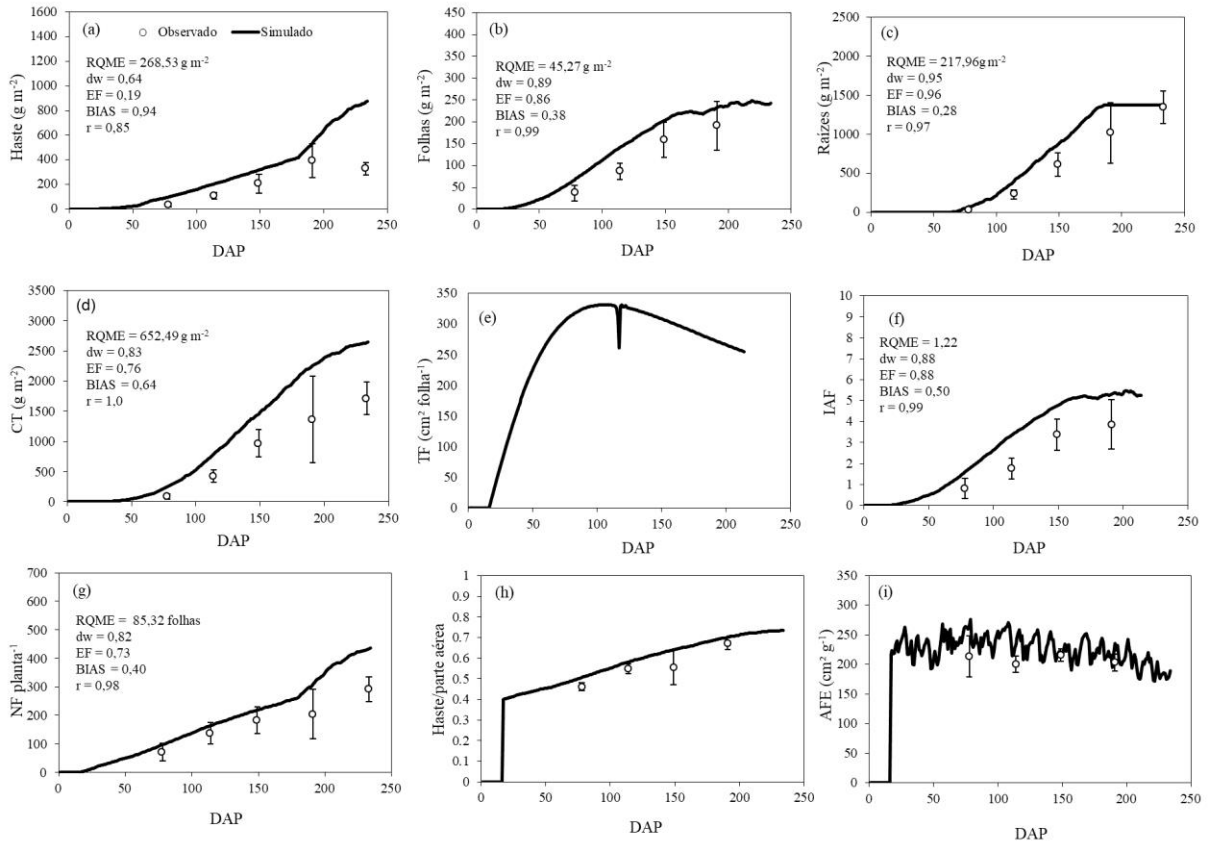


Figura 12 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico médio, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Dilermando de Aguiar/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

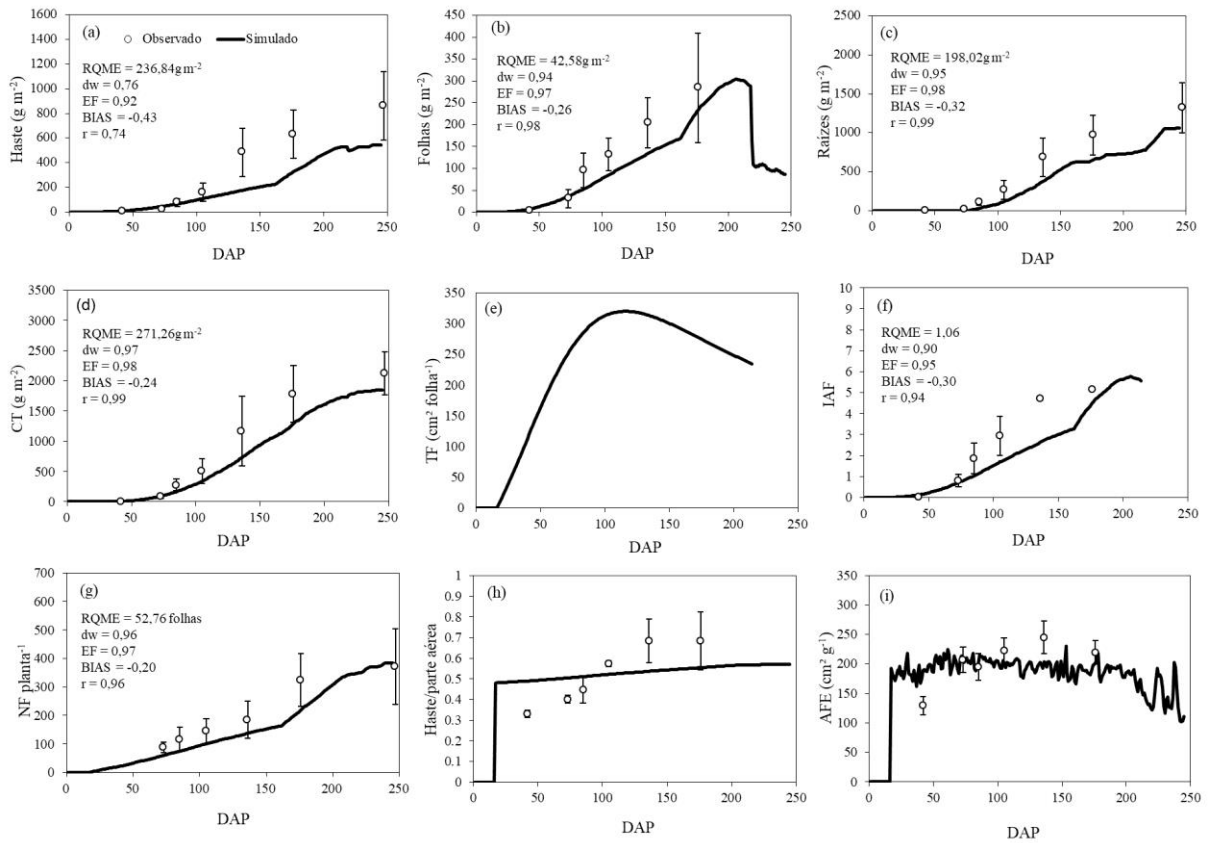


Figura 13 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico médio, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Itaqui/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

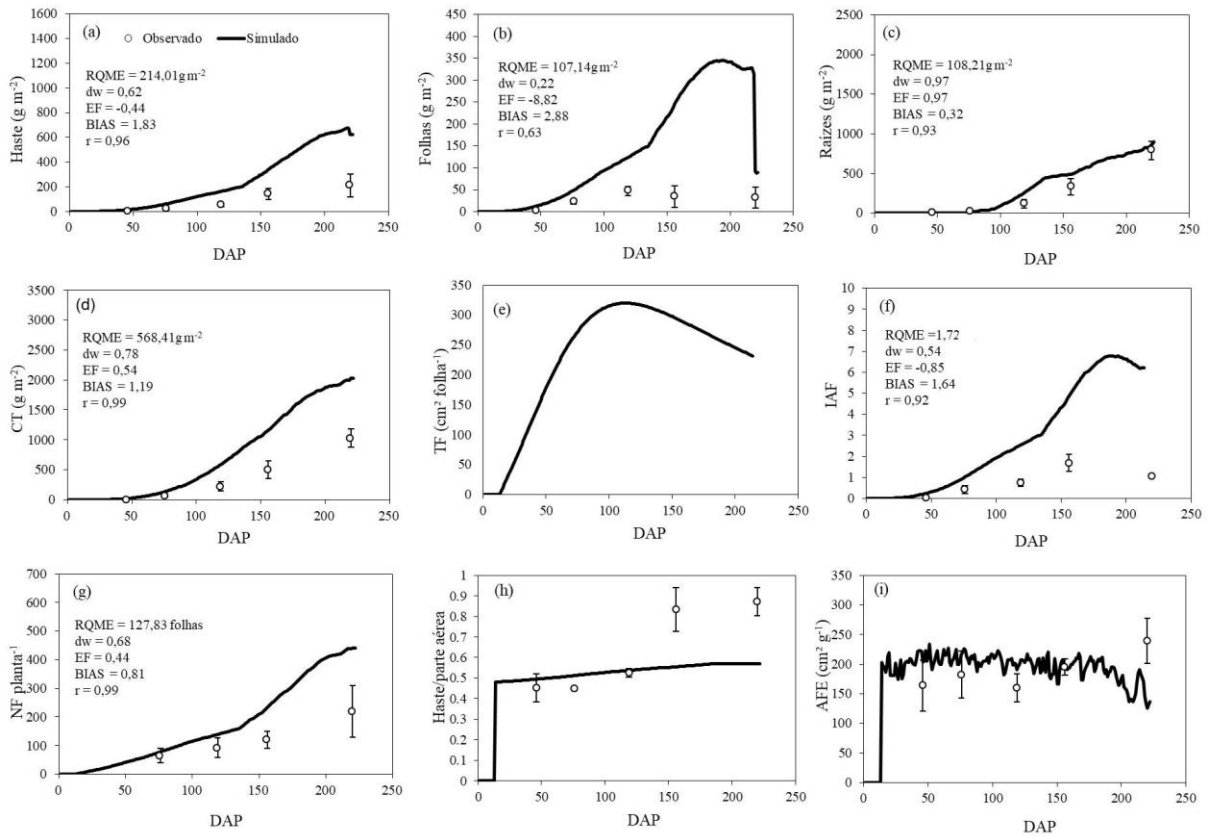


Figura 14 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico médio, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Frederico Westphalen/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

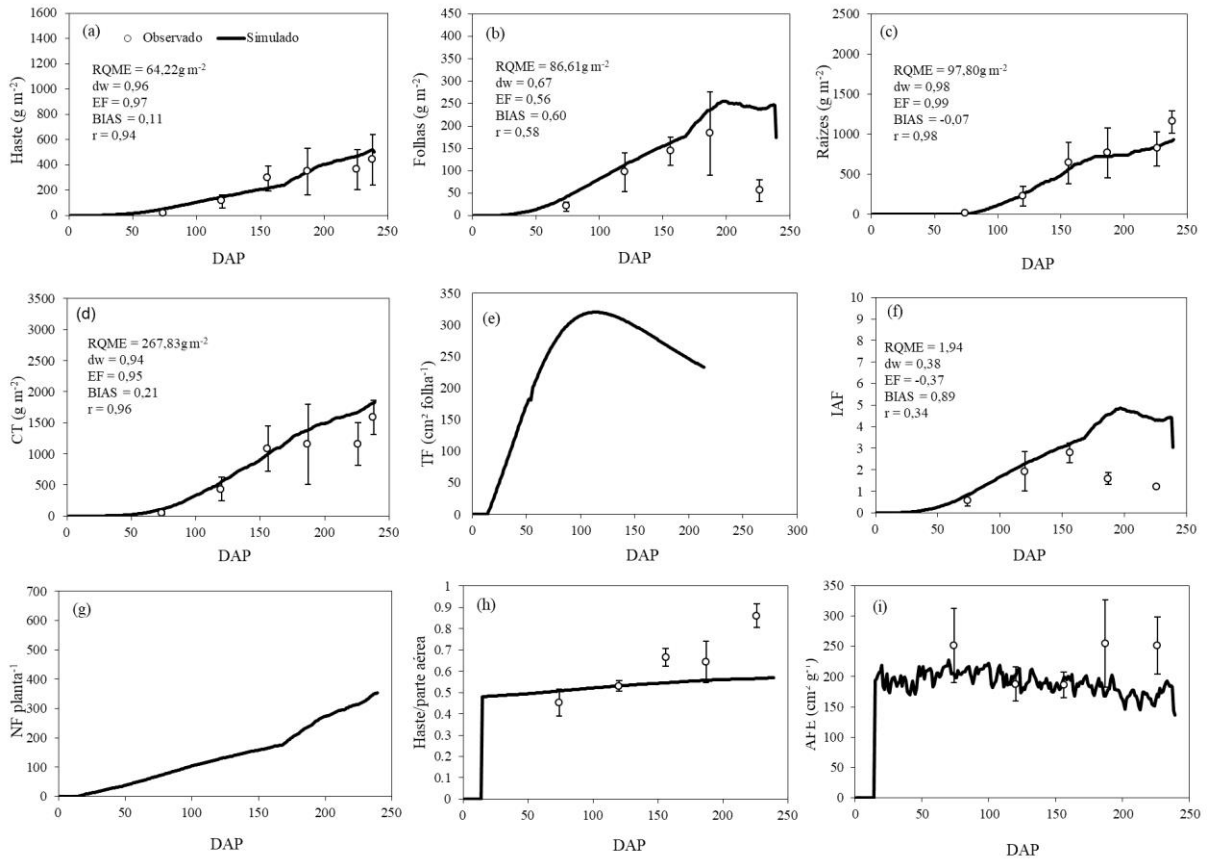


Figura 15 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico médio, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Ibarama/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

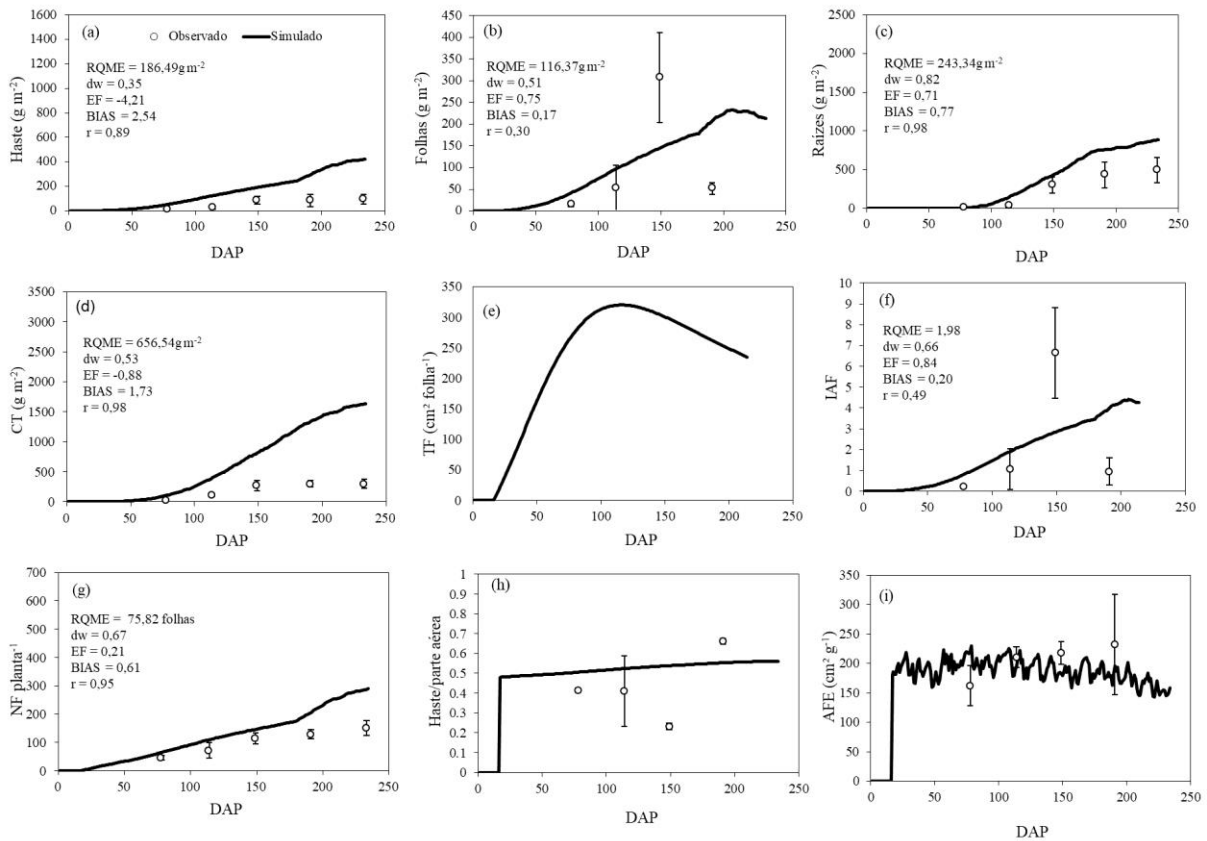


Figura 16 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico baixo, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Dilermando de Aguiar/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

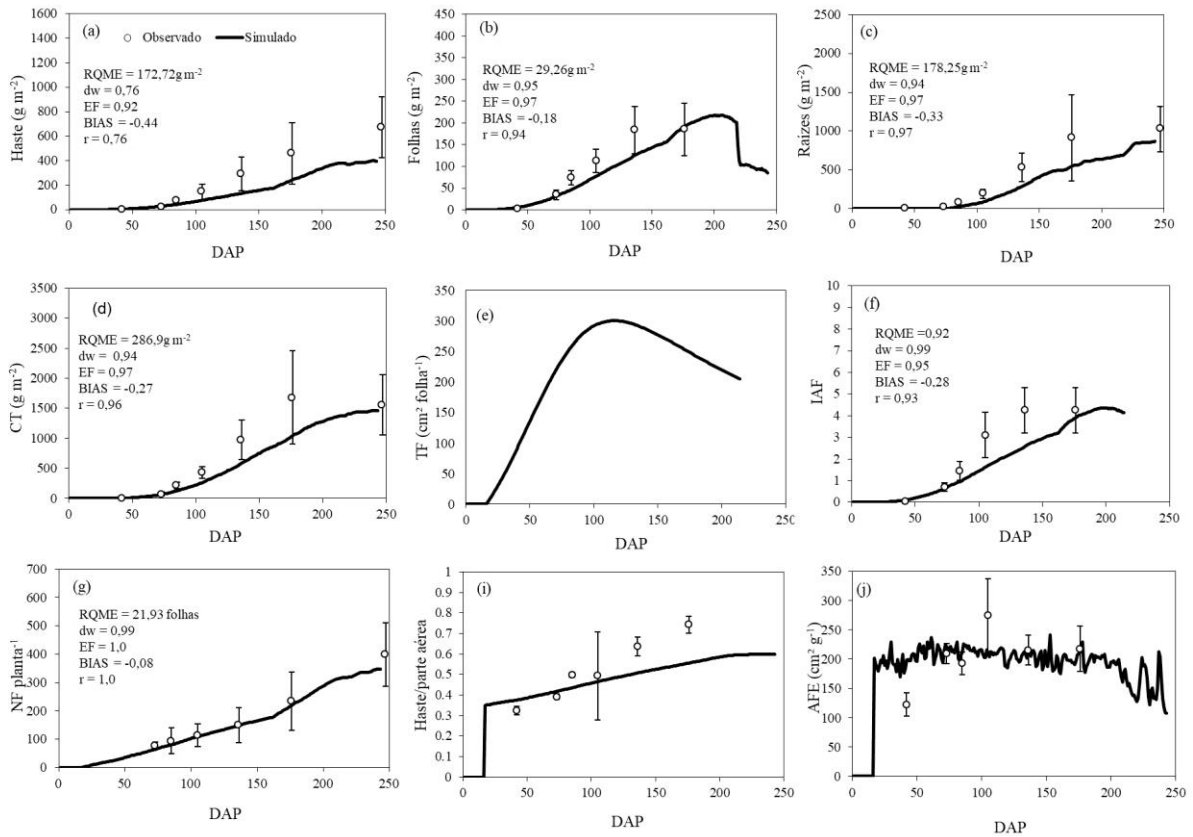


Figura 17 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico baixo, com dados independentes do ano agrícola 2017/2018 em Itaqui/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

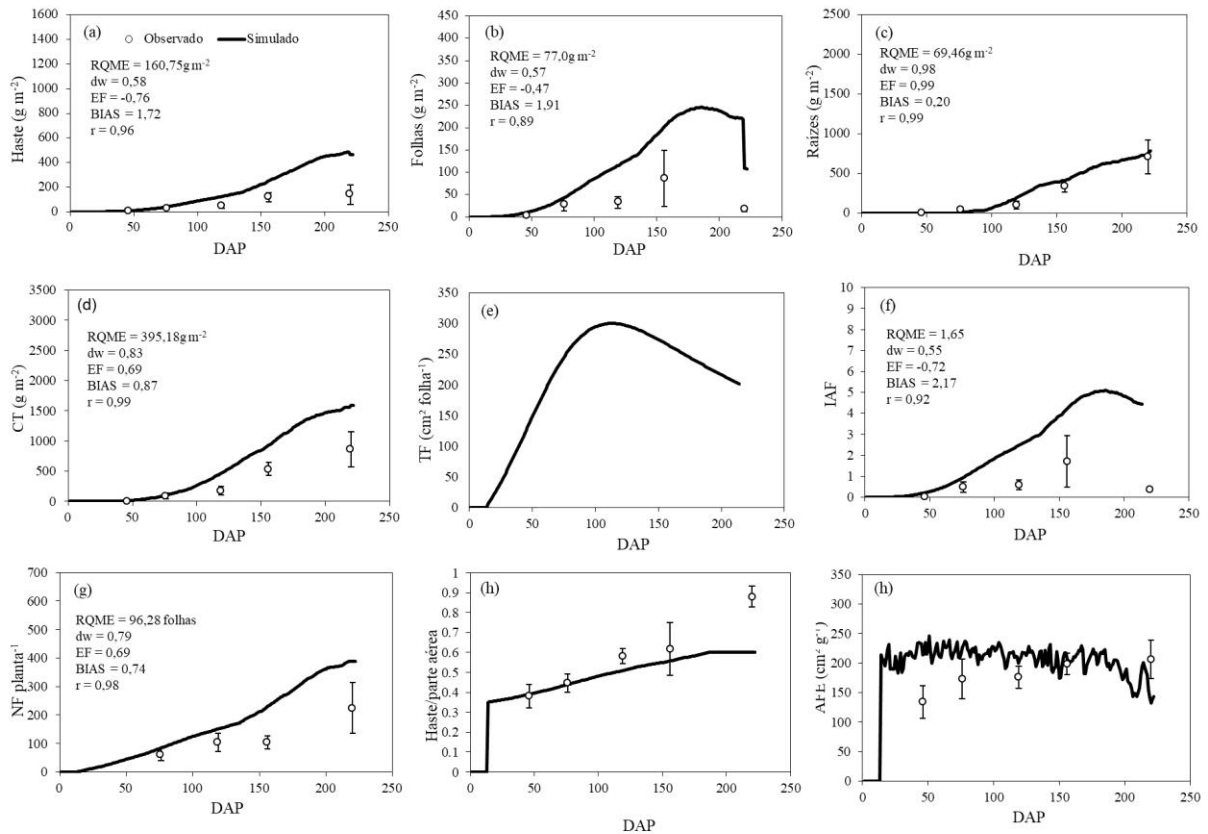


Figura 18 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico baixo, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Frederico Westphalen /RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

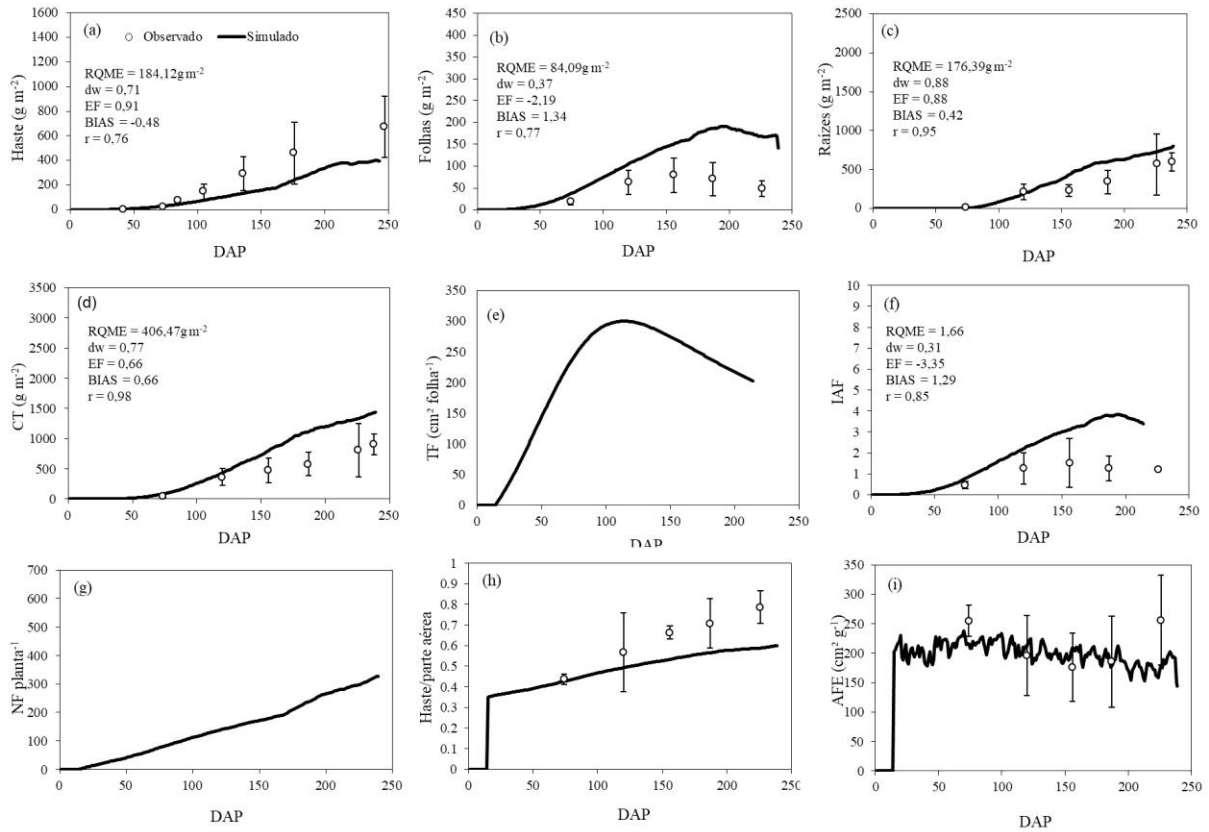


Figura 19 – Avaliação das variáveis de desenvolvimento e crescimento da cultivar de mandioca Vassourinha cultivada em nível tecnológico baixo, com dados independentes do ano agrícola 2018/2019 em Ibarama/RS. Os dados observados são representados em dias após o plantio (DAP) por círculos vazados com barras de desvio padrão e os dados simulados com o modelo Simanihot são representados pelas linhas contínuas. Cada painel representa um processo ou parâmetro: produção de haste (a), folhas (b), raízes tuberosas (c), crescimento total (massa seca de folhas, haste e raízes) (d), tamanho de folha (e), índice de área foliar (f), número de folhas acumuladas (g), razão haste/parte aérea (h) e área foliar específica (i).

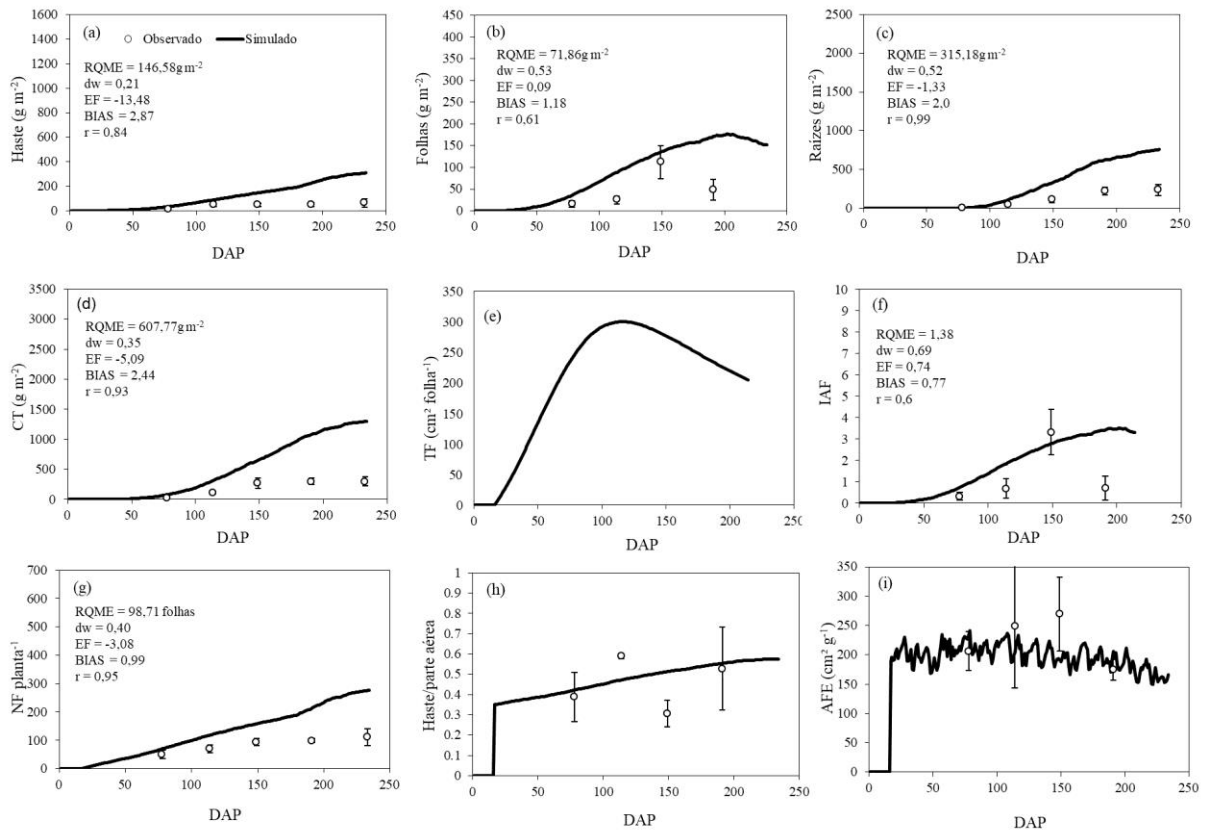
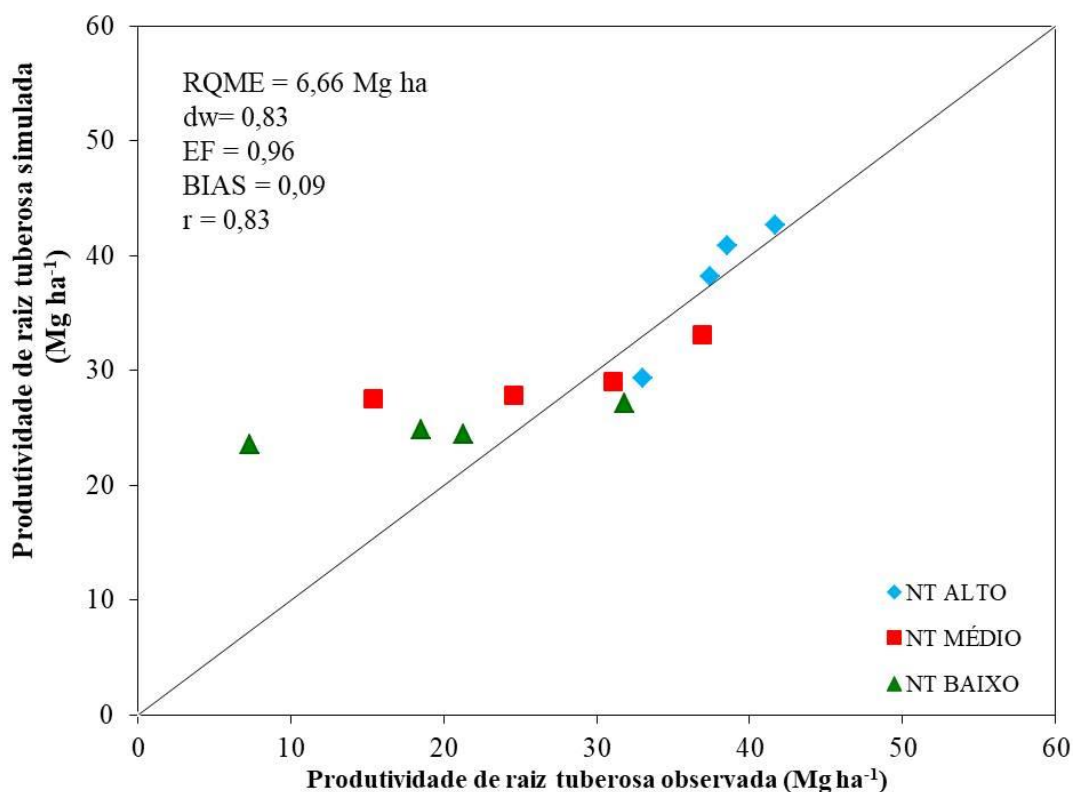


Figura 20 – Avaliação do modelo Simanihot para produtividade de raízes tuberosas (Mg ha^{-1}) dos experimentos realizados com a cultivar Vassourinha para os níveis tecnológicos alto, médio e baixo em Dilermando de Aguiar, Frederico Westphalen, Ibarama e Itaqui durante os anos agrícolas 2017/2018 e 2018/2019.



4.2 INFLUÊNCIA DO ENOS NO CULTIVO DA MANDIOCA EM NÍVEIS TECNOLÓGICOS

Os impactos do fenômeno ENOS na produtividade de mandioca e parte aérea foram distintos em todos locais simulados e níveis tecnológicos (Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 e 31), entretanto apresentaram pouca variação entre as médias de produtividade nas diferentes fases do ENOS. Entre os anos de 1961 a 2019, foram 19 anos classificados como Neutros, 21 anos com ocorrência do El Niño e 18 anos com ocorrência de La Niña. Em anos com ocorrência de El Niño, o crescimento e desenvolvimento das plantas de mandioca não são penalizados pelo modelo de balanço hídrico por excesso hídrico (que geralmente ocorre nos anos caracterizados por esta fase do ENOS), a forma de penalizar ocorre pela redução da

radiação nos dias chuvosos. Dessa forma, o modelo pode estar superestimando a produtividade de mandioca quando o plantio foi realizado no início do período proposto pelo zoneamento da cultura em anos de ocorrência de El Niño, por não considerar o excesso de precipitação que geralmente ocorre no início da primavera no estado Rio Grande Sul (MATZENAUER et al., 2018).

As datas de plantio não foram influenciadas pelo fenômeno ENOS. Assim, as produtividades de raízes tuberosas apresentaram tendência decrescente, com maiores produtividades quando o plantio foi realizado nas primeiras datas propostas pelo Zoneamento Agroclimático da Cultura da Mandioca (11 de setembro), com exceção de Porto Alegre no nível tecnológico alto (Figura 26a). Também foi observado que tanto as produtividades de raízes tuberosas como da parte aérea de mandioca aumentaram a medida que se aumentou os níveis tecnológicos. Cruz Alta, Passo Fundo e Torres foram os locais que apresentaram as maiores médias de produtividade de raízes tuberosas no NTA (acima de $54,5 \text{ Mg ha}^{-1}$), enquanto que Porto Alegre obteve menor produtividade de raízes, $44,4 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Para Bagé e Santana do Livramento, localizados na região da Campanha, apresentaram produtividades médias de raízes de mandioca próximo a 50 Mg ha^{-1} no cultivo em NTA, quando o plantio foi realizado no dia 11 de setembro (Figura 21a e 28a). Em ambos locais e nos três níveis tecnológicos, as maiores médias de produtividade de raízes foram obtidas nos anos neutros (Figura 21 e 28), nos quais também se observaram alta variabilidade interanual, chegando a variar 30 Mg ha^{-1} (Figura 32, 33, 34). A produtividade média de parte aérea em Bagé (Figura 21b, 21d e 21f) apresentou pequena diferença nas tendências entre as fases do ENOS apenas no cultivo NTA, enquanto que nos NTM e NTB, as linhas de produtividade média se sobrepuseram. Em Santana do Livramento, a produtividade média de parte aérea mostrou-se ligeiramente maior em anos com ocorrência de El Niño (Figura 32b, 32d e 32f).

Em Cruz Alta (Figura 22), a média de produtividade de raízes no NTA foi levemente maior nos anos Neutros e em seguida em anos com ocorrência de La Niña, porém apresentaram-se com tendências semelhantes para o plantio realizado entre 20 de setembro até início de outubro, sendo que plantios após 10 de outubro apresentaram maiores produtividades de raízes em anos Neutros que em anos com ocorrência de El Niño e La Niña (Figura 22a). Nos NTM (Figura 22b) e NTB (Figura 22c) as produtividades foram um pouco maiores em anos com ocorrência de El Niño quando o plantio foi realizado no dia 11 de

setembro, porém plantios realizados após 22 de setembro mostrou-se pouco superior a produtividade de raízes entre os anos Neutros e com ocorrência do ENOS.

Observou-se também, que as produtividades de raízes provenientes de anos com ocorrência de La Niña em Cruz Alta, apresentaram maior variabilidade interanual nos três níveis tecnológicos (Figura 32b, 33b, 34b). Quando o plantio foi realizado dia 11 de setembro (Tabela 8), observa-se que dos 18 anos classificados como La Niña, cerca de 44,45% dos anos no NTA, 50% no NTM e 55,55% dos anos no NTB, apresentaram produtividade de raízes de mandioca superior a média dos anos Neutros (55,48 Mg ha⁻¹ no NTA, 38,4 Mg ha⁻¹ no NTM e 30,95 Mg ha⁻¹ no NTB). Quanto a produtividade de parte aérea, anos com ocorrência de El Niño mostraram médias de produtividades um pouco maior (acréscimo de cerca de 2 Mg ha⁻¹), quando o plantio foi realizado dia 11 de setembro, enquanto que quando o plantio foi realizado a partir de novembro, a média de produtividade foi semelhante a anos Neutros e nas duas fases do ENOS.

Para Encruzilhada do Sul, as médias de produtividade de raízes e parte aérea durante as fases do ENOS quando cultivada nos NTM e NTB mostraram a mesma tendência de produtividade durante anos Neutros e nas duas fases do ENOS (Figura 23c, 23d, 23e e 23f), porém ocorreu maior variação das produtividades em anos de El Niño e La Niña (Figura 33c e 34c). No NTA, a produtividade média de raízes apresentou-se semelhante durante anos Neutros, com ocorrência de El Niño e La Niña quando o plantio foi realizado até 12 de outubro, contudo, a partir desta data, os plantios em anos Neutros apresentaram produtividades ligeiramente superiores aos anos com ocorrência do fenômeno ENOS (Figura 23a). Na distribuição das produtividades de raízes, observa-se que no NTA (Figura 32c), há maior variabilidade de produtividade de raízes em anos com ocorrência de La Niña, onde 61,1% dos anos apresentaram produtividades superiores a média dos anos Neutros (49,68 Mg ha⁻¹). A produtividade de parte aérea no NTA apresentou maiores valores médios durante anos com ocorrência de El Niño, seguido de anos Neutros (Figura 23b).

Em plantios realizados em Passo Fundo, localizado no Planalto Médio, em setembro até início de outubro apresentaram tendências de produtividade de raízes semelhantes em anos com ocorrência de La Niña e El Niño quando o cultivo foi realizado no NTA (Figura 24a). Nos NTM e NTB, as curvas de produtividade média de raízes não apresentam diferença, enquanto que a produtividade nos anos Neutros chega a ser até 3 Mg ha⁻¹ menor que nos anos com influência do ENOS (Figura 24c e 24e). Os plantios realizados em anos Neutros, mostraram uma grande oscilação de produtividades nos três níveis tecnológicos (Figura 32d,

33d e 34d), verificando variação aproximada de 32 Mg ha⁻¹ nos NTA e NTM, e quase 24 Mg ha⁻¹ no NTB.

A produtividade média de parte aérea em Passo Fundo nos três níveis tecnológicos, alcançada nas primeiras datas de plantio simuladas mostraram um pequeno acréscimo de produtividade em anos de El Niño, mas plantios posteriores a 20 de outubro as médias de produtividades de parte aérea são semelhantes entre os anos Neutros e com influencia do fenômeno ENOS (Figura 24b, 24d e 24f). Também foi observado que a produtividade média de parte aérea em Passo Fundo foi menor em relação a outros locais simulados que tiveram produtividades menores, como por exemplo Encruzilhada do Sul, Porto Alegre e São Luiz Gonzaga que apresentaram produtividades médias de parte aérea próximas a 18 Mg ha⁻¹ (em massa seca).

As produtividades médias de raízes no litoral gaúcho (Pelotas e Torres), quando cultivadas nos NTM e NTB, não apresentaram diferença entre as fases de ocorrência do fenômeno ENOS (Figura 25c, 25e, 30c e 30e). No NTA, em anos de La Niña em Pelotas as produtividades médias foram superiores 4%, produzindo 2 Mg ha⁻¹ do que em anos Neutros e com ocorrência de El Niño (Figura 25a). Para Torres, as maiores produtividades no NTA foram atingidas em anos Neutros, alcançando 4 Mg ha⁻¹ a mais quando comparado com os anos com ocorrência de El Niño (Figura 30a). Durante os anos Neutros em Pelotas, foi observado altas variações de produtividade de raízes nos NT (Figura 32e, 33e e 34e). O ano agrícola 2001/2002 atingiu as menores produtividades em Pelotas, produzindo 75% a menos do que a média dos anos Neutros no NTA (Figura 32e), 57,9% no NTM (Figura 33e) e 47,65% no NTB (Figura 34e). Em Torres, as oscilações entre as produtividades de raízes tuberosas são semelhantes entre os anos Neutros e com influencia do ENOS (Figura 32j, 33j e 34j). Para a produção de parte aérea, os anos com ocorrência de El Niño se mostraram mais produtivos tanto em Torres (Figura 30b, 30d e 30f) como em Pelotas (Figura 25b, 25d e 25f).

Na região da Depressão Central, Santa Maria e Porto Alegre, apresentam as maiores produtividades em anos com ocorrência de La Niña, chegando a produzir 4 Mg ha⁻¹ a mais do que em anos Neutros quando o plantio foi realizado dia 11 de setembro no NTA (Figura 26a e 27a, respectivamente). Dos anos classificados como La Niña, 72% em Porto Alegre e 83% em Santa Maria das produtividades de raízes no NTA apresentam-se maiores que a média atingida em anos neutros (42,1 e 43,11 Mg ha⁻¹, respectivamente) (Tabela 8). Porém, nos NTM e NTB em Santa Maria, as produtividades de raízes se assemelham nas duas fases do fenômeno ENOS, alcançando produtividades médias com 3 Mg ha⁻¹ a mais do que em anos

Neutros (Figura 27c e 27e). Em Porto Alegre, as produtividades médias de raízes nos anos Neutros e com ocorrência de El Niño são semelhantes nos NTM e NTB, mas produzem cerca de 2 Mg ha⁻¹ a menos do que em anos com ocorrência de La Niña (Figura 26c e 26e). Quanto a produtividade de parte aérea, os anos com ocorrência de El Niño se mostraram mais produtivos tanto em Porto Alegre (Figura 26b, 26d e 26f) como em Santa Maria, (Figura 27b, 27d e 27f) mas no NTA a diferença foi mais visível.

Em São Luiz Gonzaga as produtividades de raízes tuberosas foram maiores em anos Neutros e com ocorrência de La Niña no NTA (Figura 29a). Nos NTM e NTB a produtividade média chega a ser maior 2 Mg ha⁻¹ em anos com ocorrência de El Niño, quando o plantio foi realizado em setembro, não mostrando diferenças contrastantes quando o plantio foi realizado a partir de primeiro de outubro (Figura 29c e 29e). Também se observou que em anos Neutros, ocorreu maior amplitude dos valores mínimos e máximos de produtividade de raízes tuberosas (Figura 32i, 33i e 34i). A produtividade de parte aérea no NTA foi alta, quando comparada com outros locais, cerca de 18 Mg ha⁻¹ (Figura 29b). As maiores produtividades de parte aérea foram atingidas em anos com ocorrência de El Niño (Figura 29b, 29d e 29e), principalmente no NTA.

Em Uruguaiana, as produtividades médias de raízes foram altas para todos os níveis tecnológicos, mostrando-se um pouco maiores em anos com ocorrência de El Niño, quando plantada no início do período proposto pelo zoneamento da cultura (Figura 31). Nos NTA (Figura 32k e 34k), as produtividades de raízes mostraram uma grande variação nos anos com ocorrência de La Niña. Dos anos classificados como La Niña, 78% apresentaram produtividades superiores a produtividade média alcançada nos anos Neutros no NTA, e 50% no NTB (Tabela 8). A média de produtividade de massa seca de parte aérea também foi alta no NTA, cerca de 15 Mg ha⁻¹, em anos Neutros e com ocorrência de El Niño. Nos NTM e NTB as produtividades de parte aérea foram semelhantes em todas as fases do ENOS (Figura 31d e 31f), também se observou que a tendência de produtividade de parte aérea não sofreu decréscimo abrupto com o atraso das datas de plantios, fato que não ocorreu no NTA (Figura 31b).

A partir das simulações realizadas, estimou-se a diferença de produtividade de raízes tuberosas da cultivar Vassourinha nos três níveis tecnológicos de quando os plantios foram realizados no primeiro dia (11 de setembro) e no último dia proposto pelo Zoneamento Agroclimático para a Cultura da Mandioca no RS (30 de novembro) (Tabela 7). Devido a cultura da mandioca ser perene, o atraso no plantio 80 dias (janela de plantio da cultura no

Estado do RS) ocasionou reduções drásticas na produtividade de raízes tuberosas. As reduções na produtividade de raízes variaram nos locais, entre os níveis tecnológicos simulados e nas fases do ENOS.

As menores reduções de produtividade de raízes tuberosas de mandioca ocorreram quando utilizado o NTA (Tabela 7). Porto Alegre, São Luiz Gonzaga apresentaram as menores reduções, 6,67% e 11,48%, respectivamente, que ocorreram em anos Neutros e com ocorrência de El Niño. As maiores reduções na produtividade média de raízes ocorreram quando foram utilizados os NTM e NTB, chegando a reduzir até 59,71% quando o plantio foi realizado em Encruzilhada do Sul, no último dia proposto pelo Zoneamento Agroclimático.

Nos NTM e NTB, as reduções nas produtividades média de raízes tuberosas de mandioca foram pouco variáveis de acordo com as fases do ENOS, atingindo as menores reduções de raízes nos anos Neutro em Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Santa Maria, Porto Alegre, Santana do Livramento, São Luiz Gonzaga e Torres, em anos com influência de El Niño, Passo Fundo e em anos com influência de La Niña, Bagé, Uruguaiana e Pelotas.

Figura 21 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Bagé cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

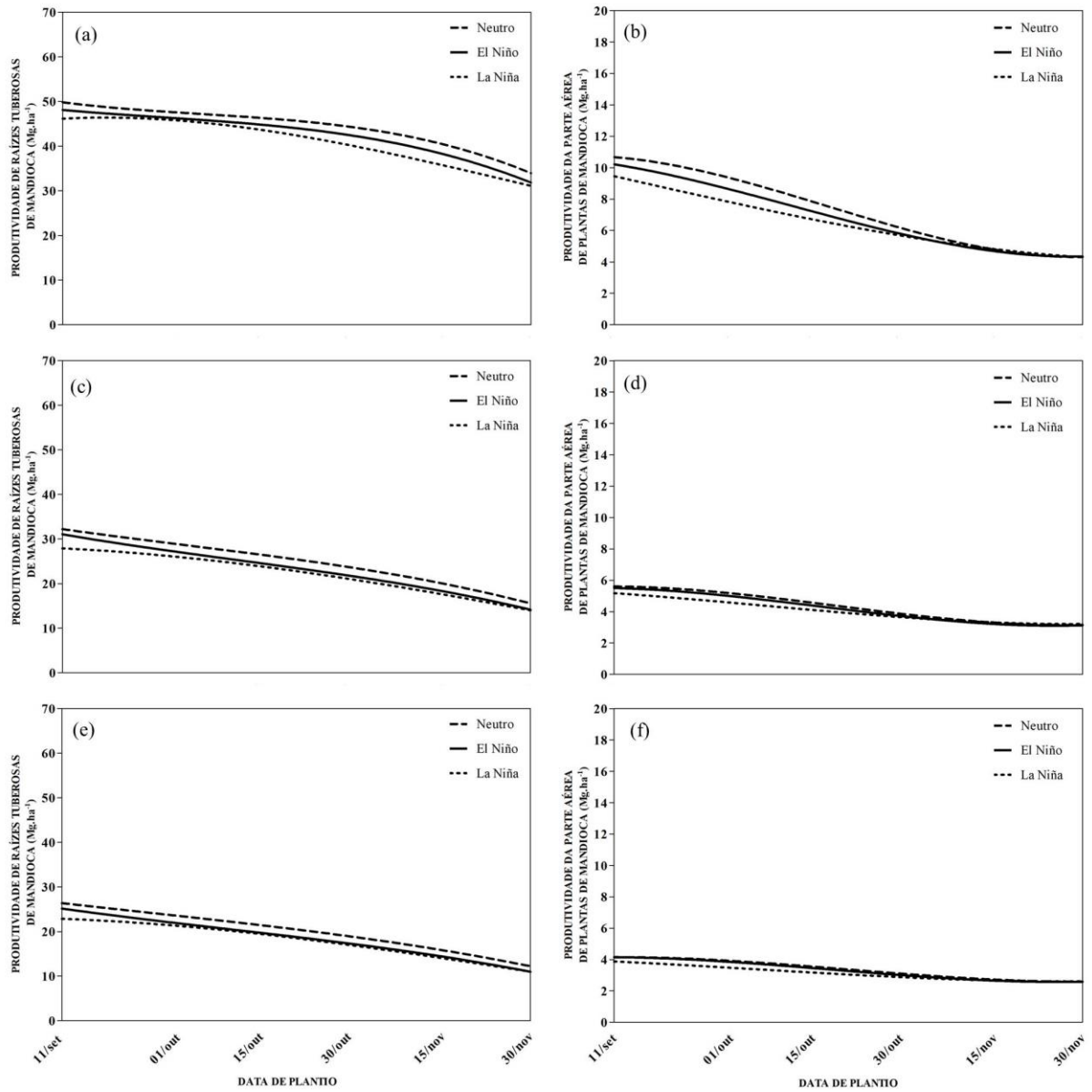


Figura 22 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Cruz Alta cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

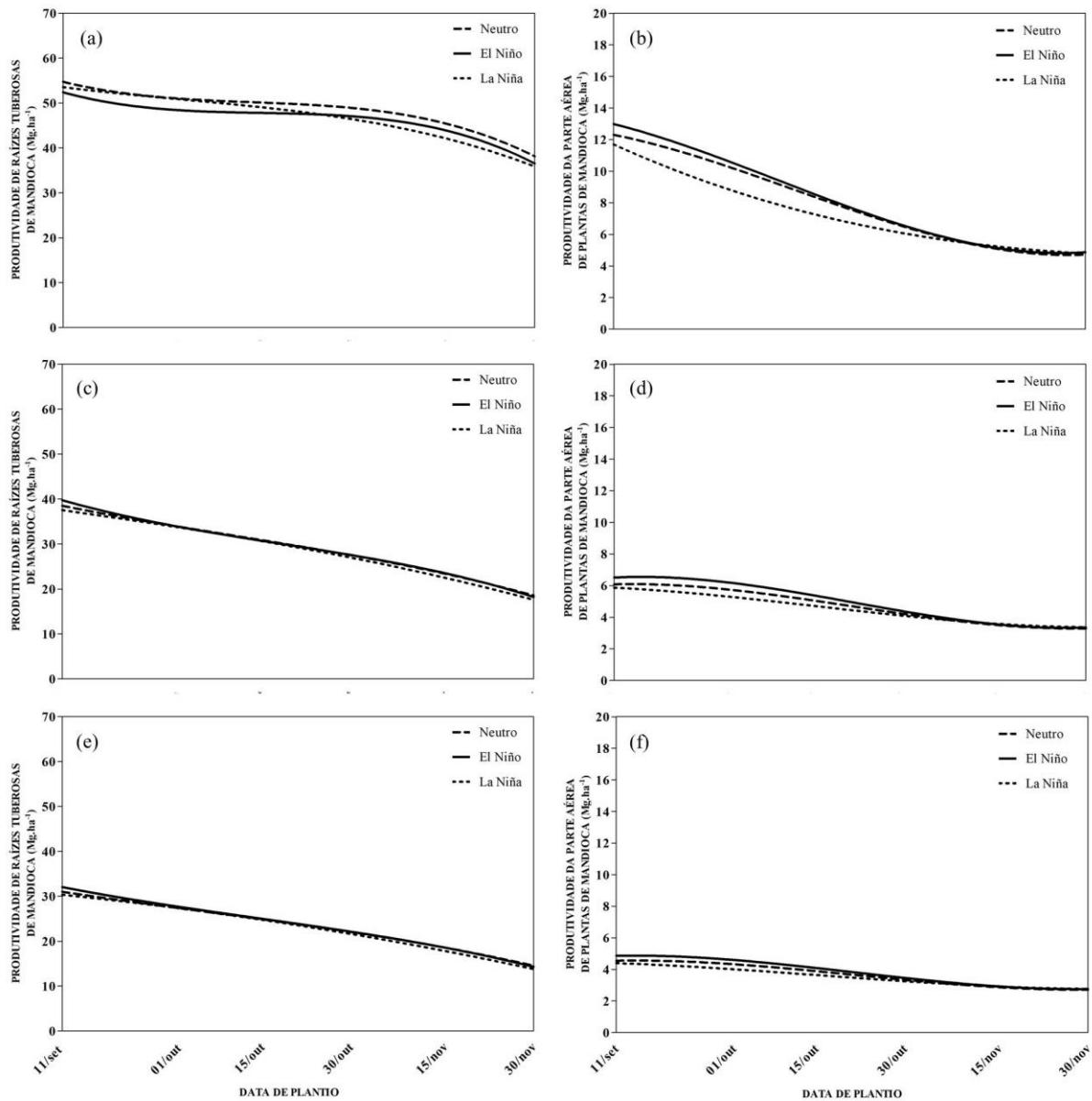


Figura 23 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Encruzilhada do Sul cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

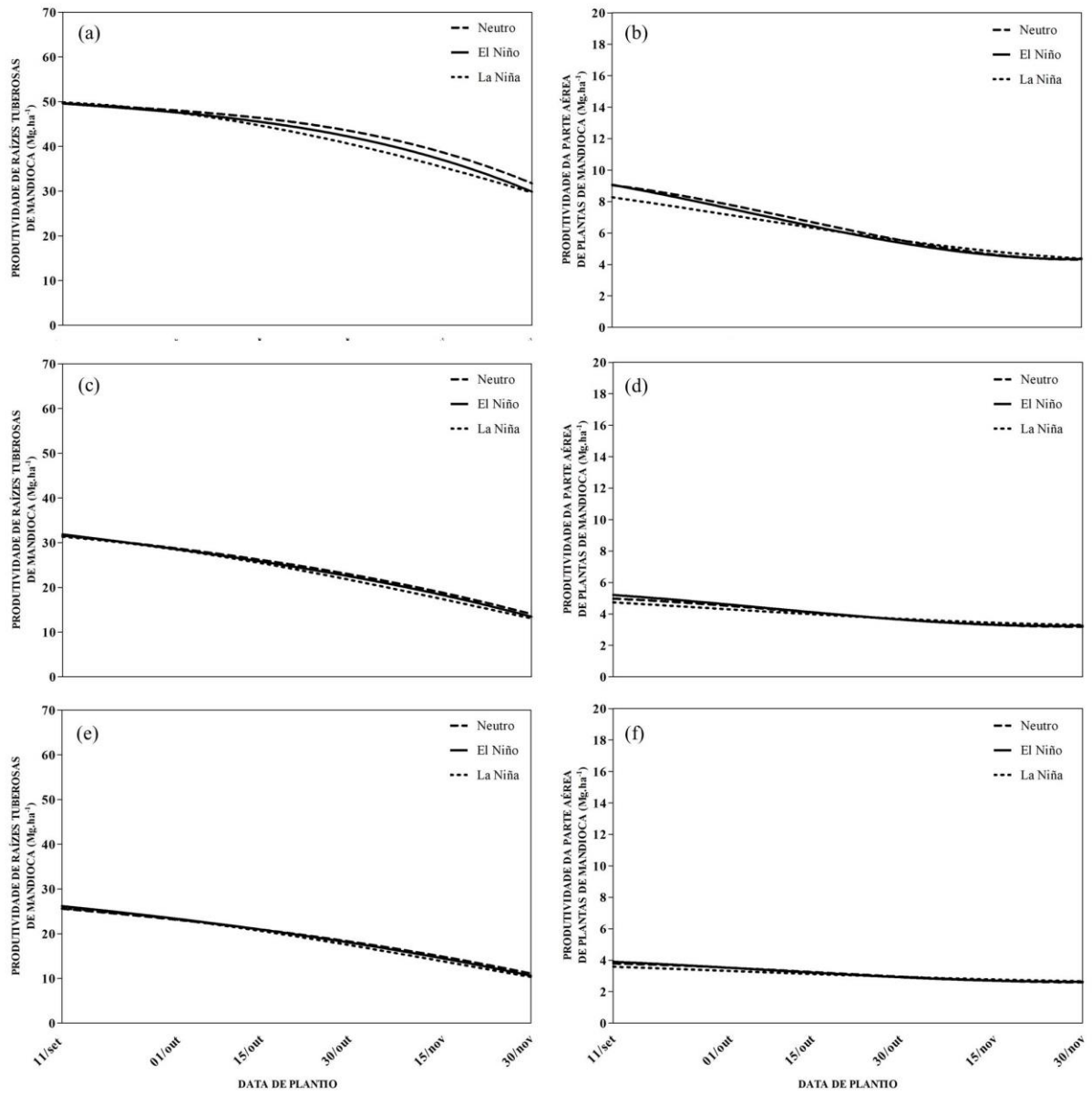


Figura 24 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Passo Fundo cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

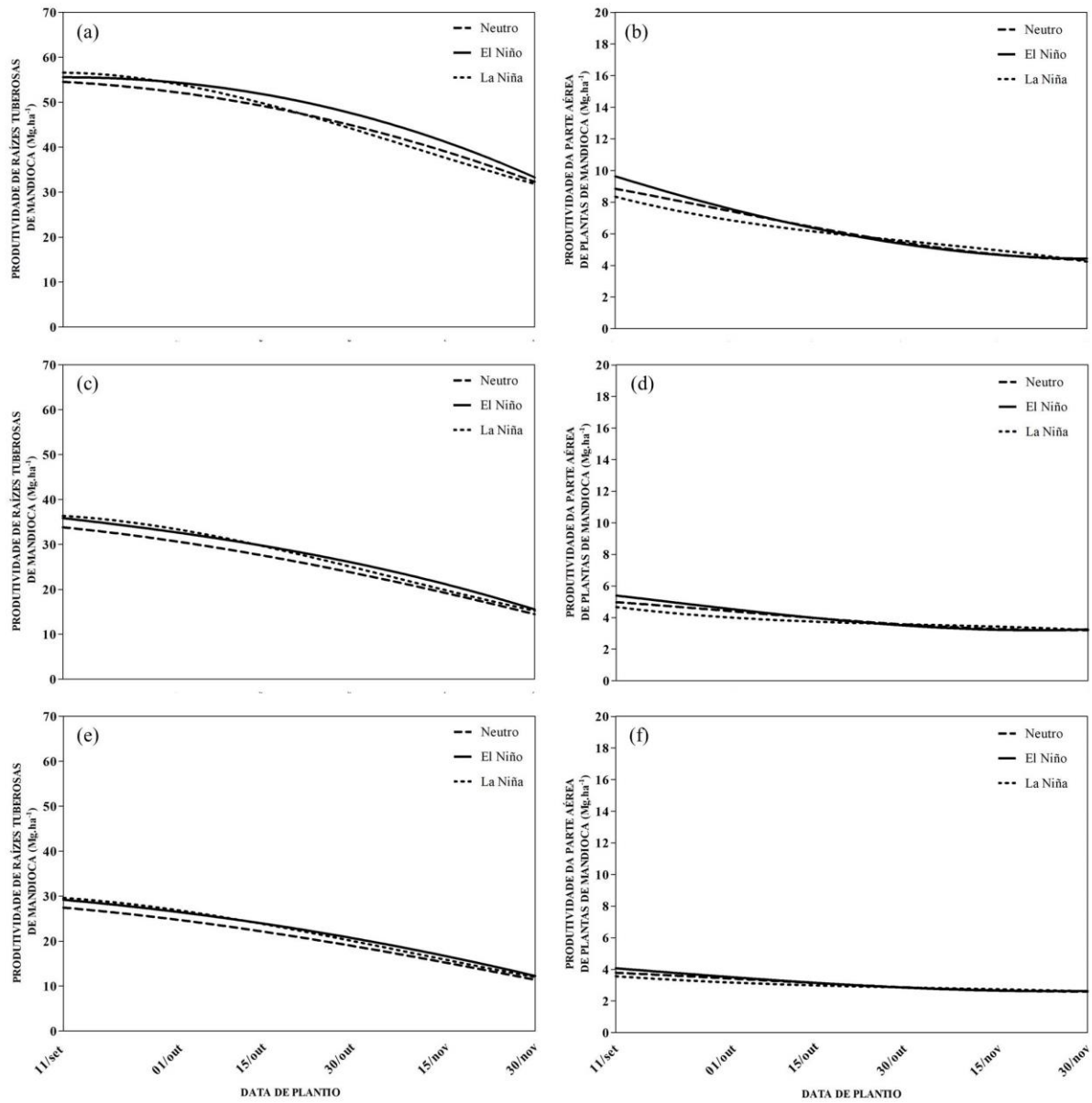


Figura 25 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Pelotas cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

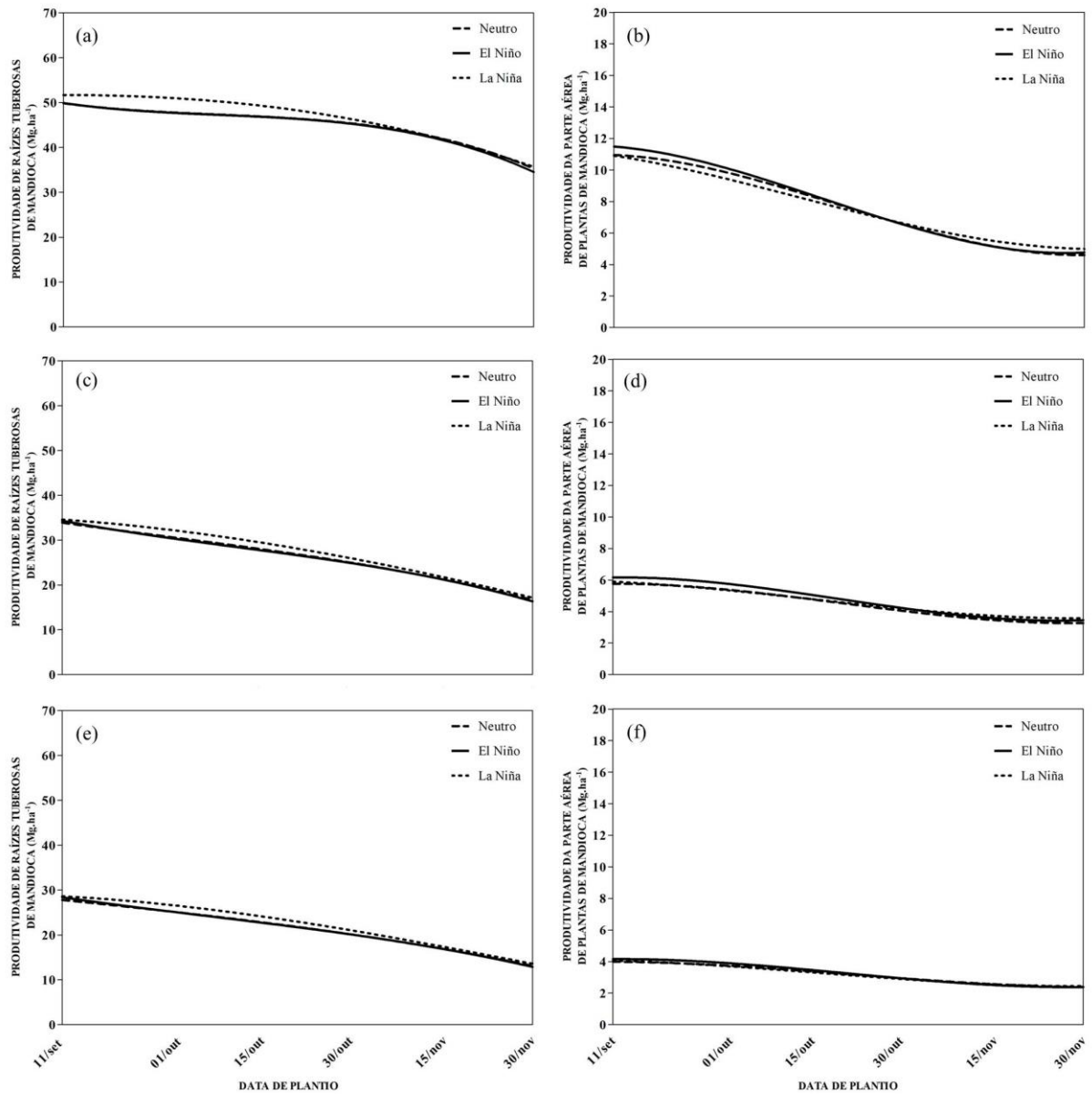


Figura 26 - Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Porto Alegre cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

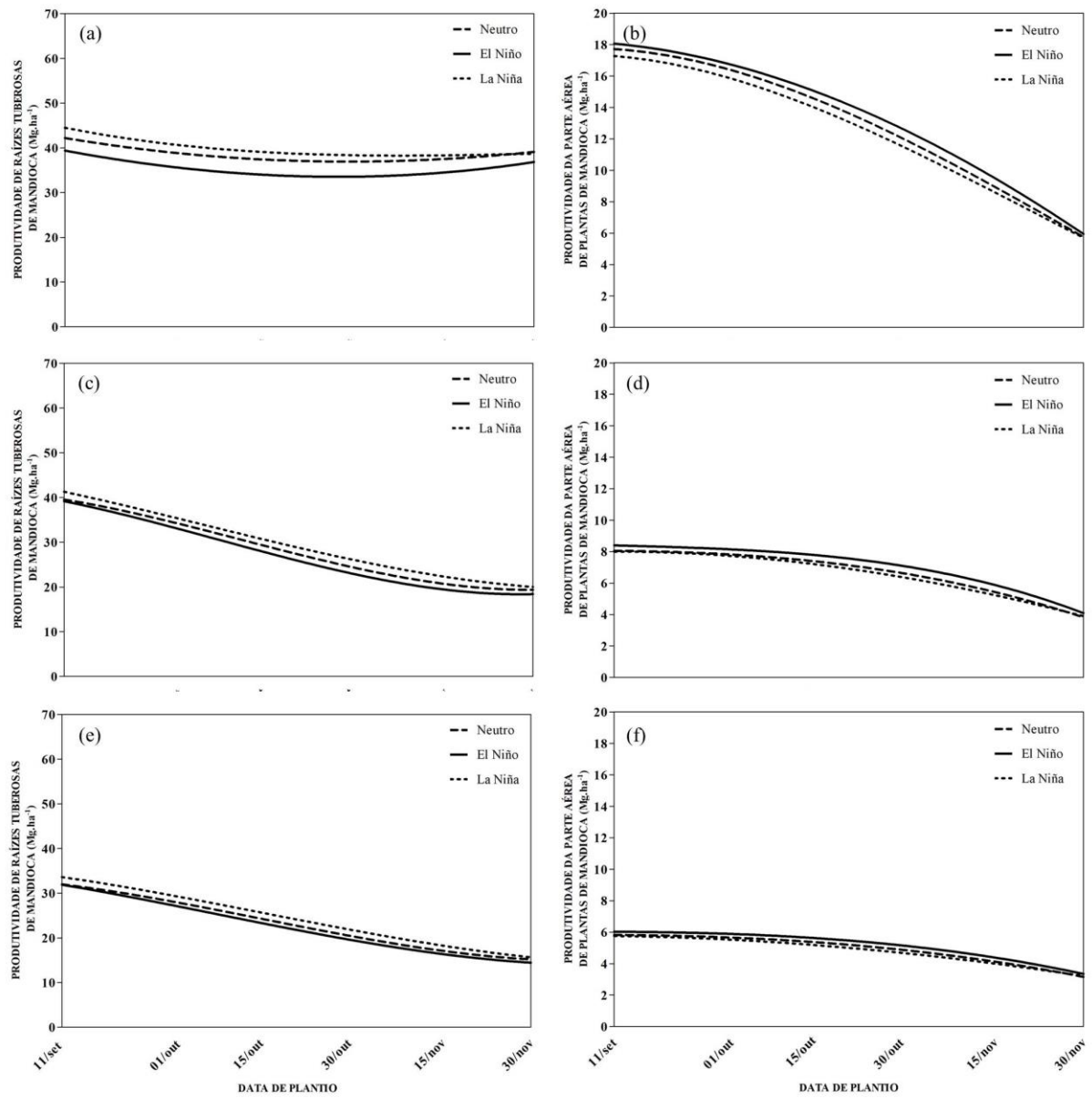


Figura 27 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Santa Maria cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

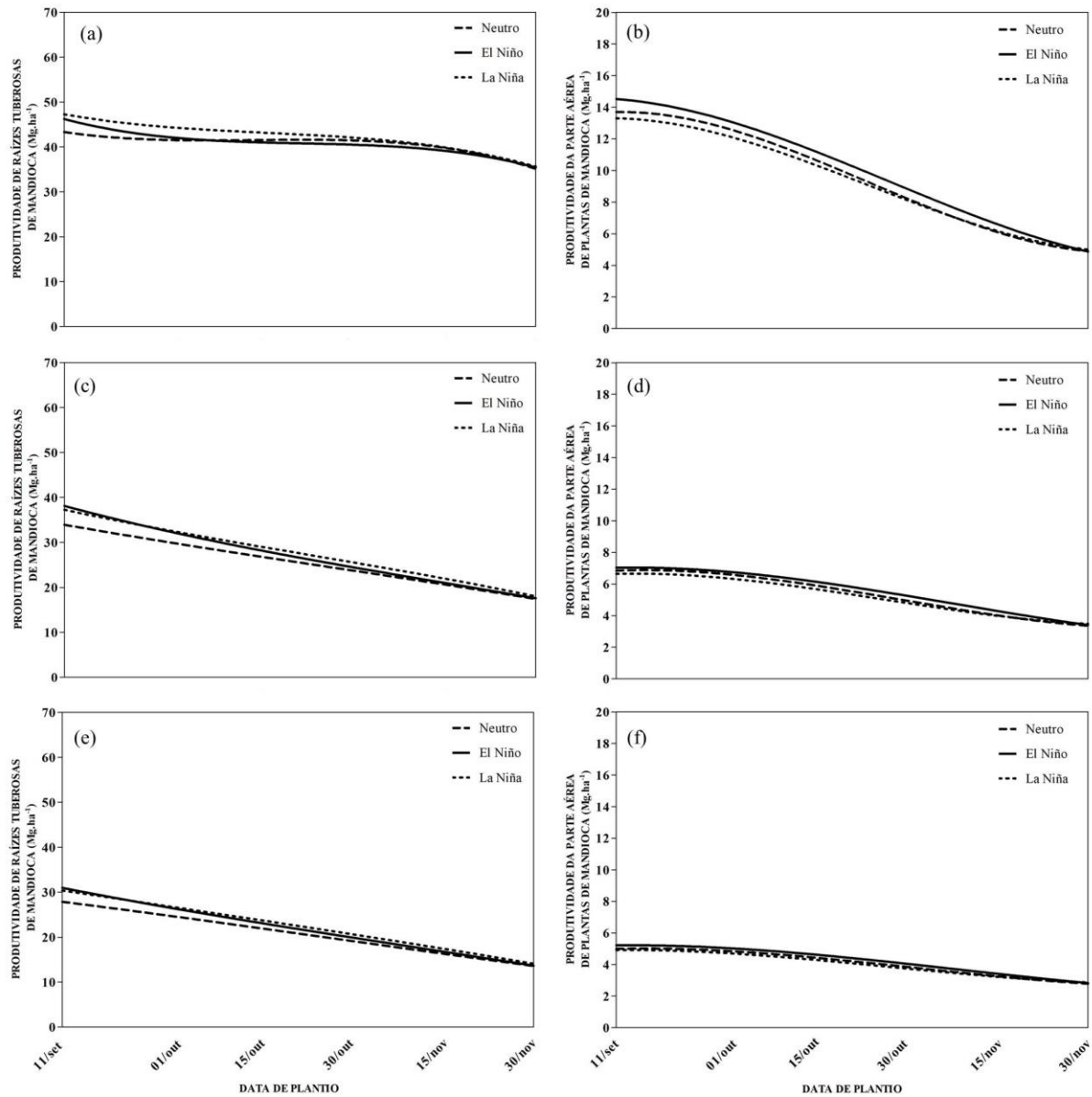


Figura 28 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Santana do Livramento cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

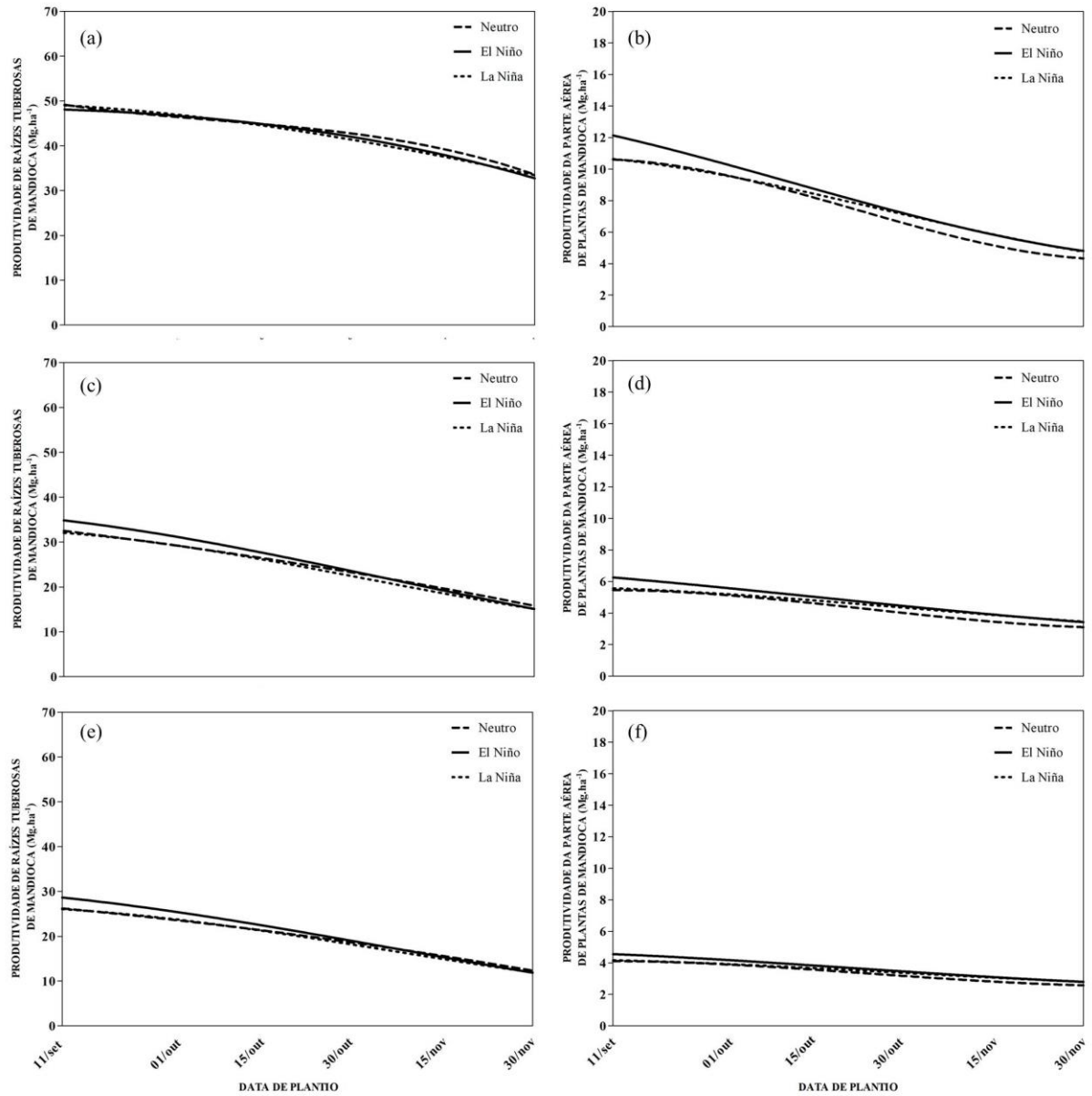


Figura 29 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em São Luiz Gonzaga cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

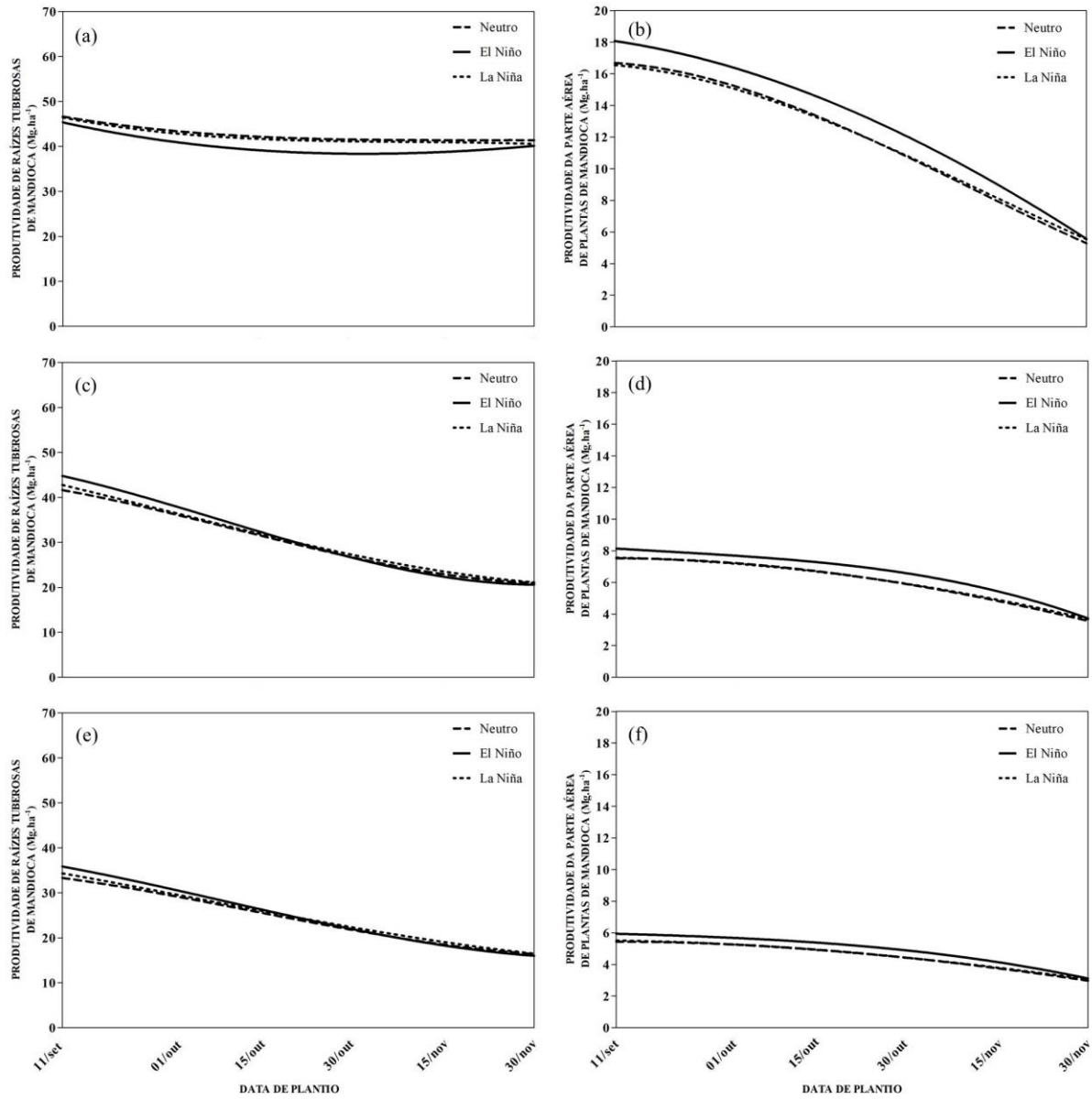


Figura 30 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Torres cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

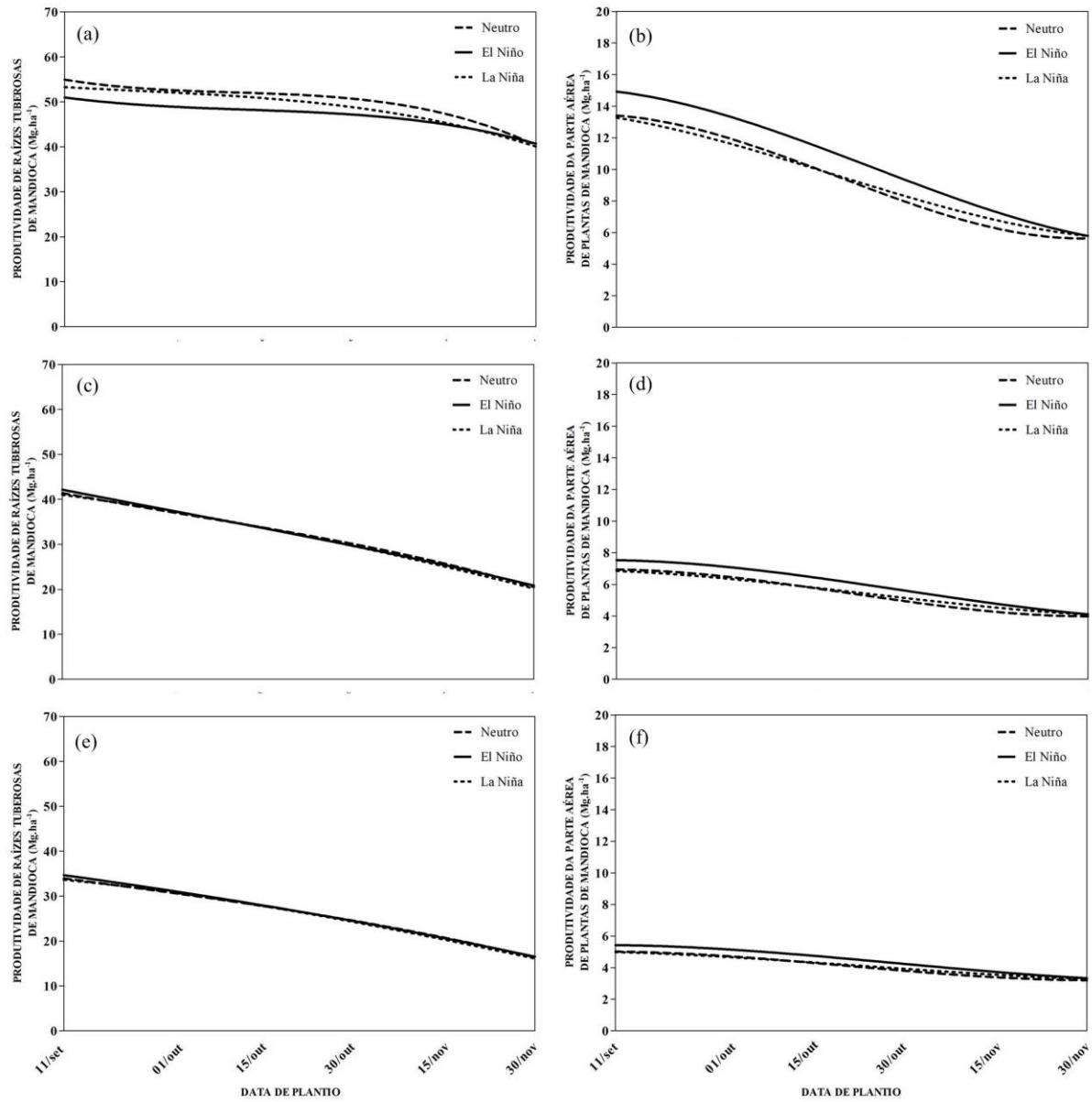


Figura 31 – Produtividade média de raízes tuberosas em massa fresca (a, c, e) e massa seca de parte aérea de plantas de mandioca (b, d, f) em função das datas de plantio em anos Neutros, anos caracterizados como El Niño e La Niña em Uruguaiiana cultivada nos níveis tecnológicos alto (a, b), médio (c, d) e baixo (e, f).

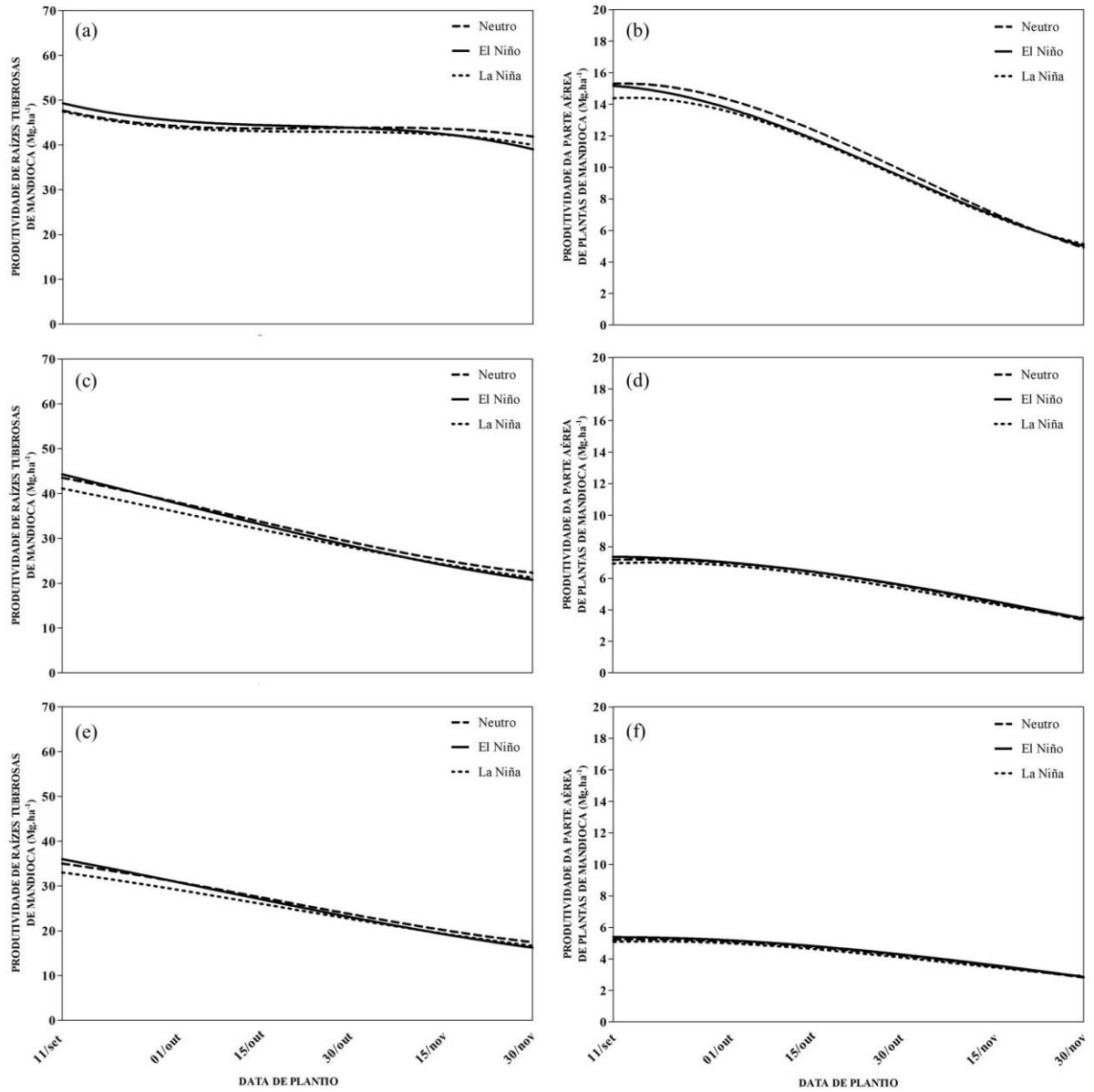


Tabela 7 – Redução na produtividade de raízes tuberosas de mandioca da cultivar Vassourinha, cultivada em níveis tecnológicos alto (NTA), médio (NTM) e baixo (NTB), gerada pelo atraso no plantio em 80 dias.

Fases do ENOS	NTA	NTM	NTB
		Bagé	
Neutro	31,82%	51,83%	53,76%
El niño	33,79%	54,62%	56,46%
La niña	32,59%	49,76%	51,83%
		Cruz Alta	
Neutro	30,30%	52,05%	53,21%
El niño	30,16%	54,31%	55,54%
La niña	32,94%	53,16%	54,54%
		Encruzilhada do Sul	
Neutro	36,10%	55,65%	56,70%
El niño	39,74%	57,86%	59,54%
La niña	40,33%	58,13%	59,71%
		Passo Fundo	
Neutro	40,73%	57,20%	58,47%
El niño	39,98%	56,52%	57,92%
La niña	43,79%	58,20%	59,59%
		Pelotas	
Neutro	29,25%	50,99%	52,93%
El niño	30,82%	52,68%	54,83%
La niña	30,86%	50,26%	52,46%
		Porto Alegre	
Neutro	7,62%	51,12%	52,64%
El niño	6,67%	53,13%	54,79%
La niña	13,20%	51,60%	53,44%
		Santa Maria	
Neutro	19,33%	49,16%	51,71%
El niño	23,71%	54,25%	56,22%
La niña	24,87%	51,80%	53,74%
		Santana do Livramento	
Neutro	31,87%	51,75%	53,20%
El niño	32,01%	56,85%	58,83%
La niña	31,78%	52,87%	54,21%
		São Luiz Gonzaga	
Neutro	11,48%	49,75%	50,91%
El niño	11,63%	53,95%	55,32%
La niña	12,80%	50,70%	52,05%
		Torres	
Neutro	26,62%	50,69%	51,89%
El niño	20,20%	50,60%	52,35%
La niña	24,84%	50,75%	52,13%
		Uruguaiana	
Neutro	12,79%	49,08%	50,47%
El niño	21,16%	53,33%	55,14%
La niña	16,21%	48,66%	49,97%

* NTA = Nível tecnológico alto; NTM = Nível tecnológico médio; NTB = Nível tecnológico baixo.

Figura 32 – Distribuição da produtividade de raízes tuberosas de mandioca da cultivar Vassourinha simuladas no nível tecnológico alto, no período de 1961 a 2019, associadas a ocorrência de El Niño, La Niña e em anos Neutros, para 11 locais do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Bagé (a), Cruz Alta (b), Encruzilhada do Sul (c), Passo Fundo (d), Pelotas (e), Porto Alegre (f), Santa Maria (g), Santana do Livramento (h), São Luiz Gonzaga (i), Torres (j) e Urugaiana (k). A linha cheia horizontal no interior da caixa representa o percentil de 50 (mediana); a linha tracejada representa a média dos anos neutros; o final das caixas os percentis de 25 e 75; as barras os percentis de 10 e 90.

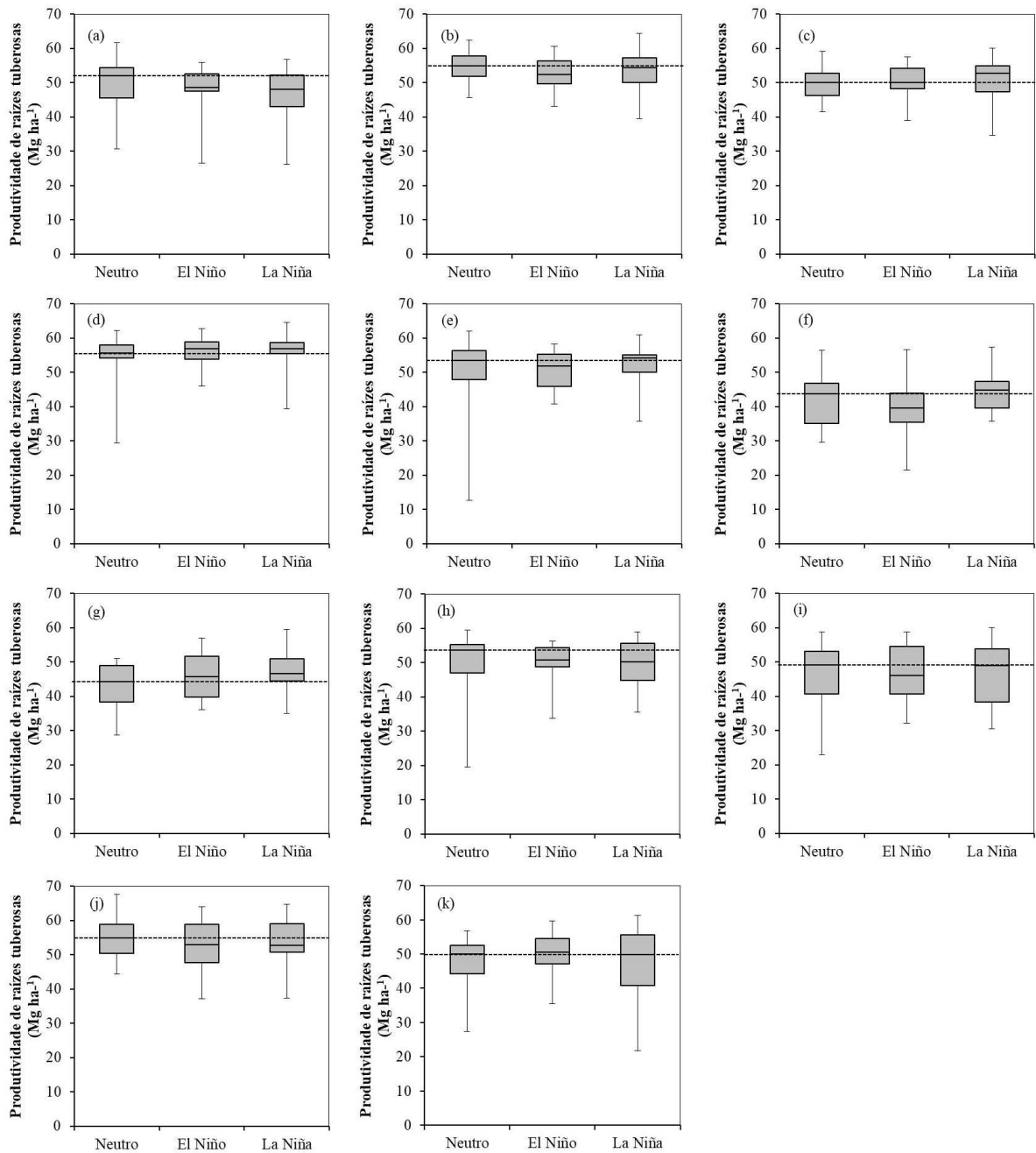


Figura 33 – Distribuição da produtividade de raízes tuberosas de mandioca da cultivar Vassourinha simuladas no nível tecnológico médio, no período de 1961 a 2019, associadas a ocorrência de El Niño, La Niña e em anos Neutros, para 11 locais do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Bagé (a), Cruz Alta (b), Encruzilhada do Sul (c), Passo Fundo (d), Pelotas (e), Porto Alegre (f), Santa Maria (g), Santana do Livramento (h), São Luiz Gonzaga (i), Torres (j) e Uruguaiana (k). A linha cheia horizontal no interior da caixa representa o percentil de 20 (mediana); a linha tracejada representa a média dos anos neutros; o final das caixas os percentis de 25 e 75; as barras os percentis de 10 e 90.

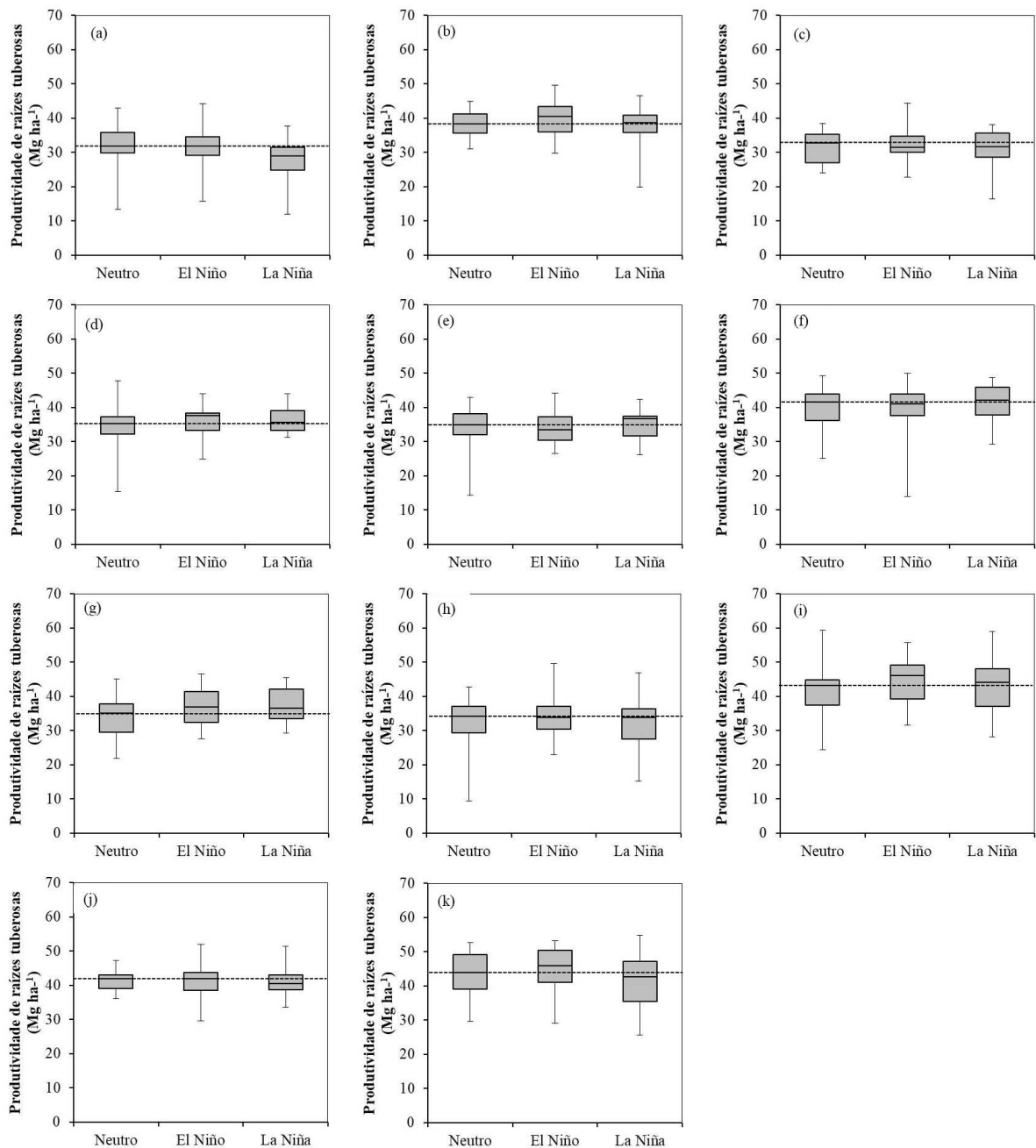


Figura 34 – Distribuição da produtividade de raízes tuberosas de mandioca da cultivar Vassourinha simuladas no nível tecnológico baixo, no período de 1961 a 2019, associadas a ocorrência de El Niño, La Niña e em anos Neutros, para 11 locais do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Bagé (a), Cruz Alta (b), Encruzilhada do Sul (c), Passo Fundo (d), Pelotas (e), Porto Alegre (f), Santa Maria (g), Santana do Livramento (h), São Luiz Gonzaga (i), Torres (j) e Uruguaiana (k). A linha cheia horizontal no interior da caixa representa o percentil de 50 (mediana); a linha tracejada representa a média dos anos neutros; o final das caixas os percentis de 25 e 75; as barras os percentis de 10 e 90.

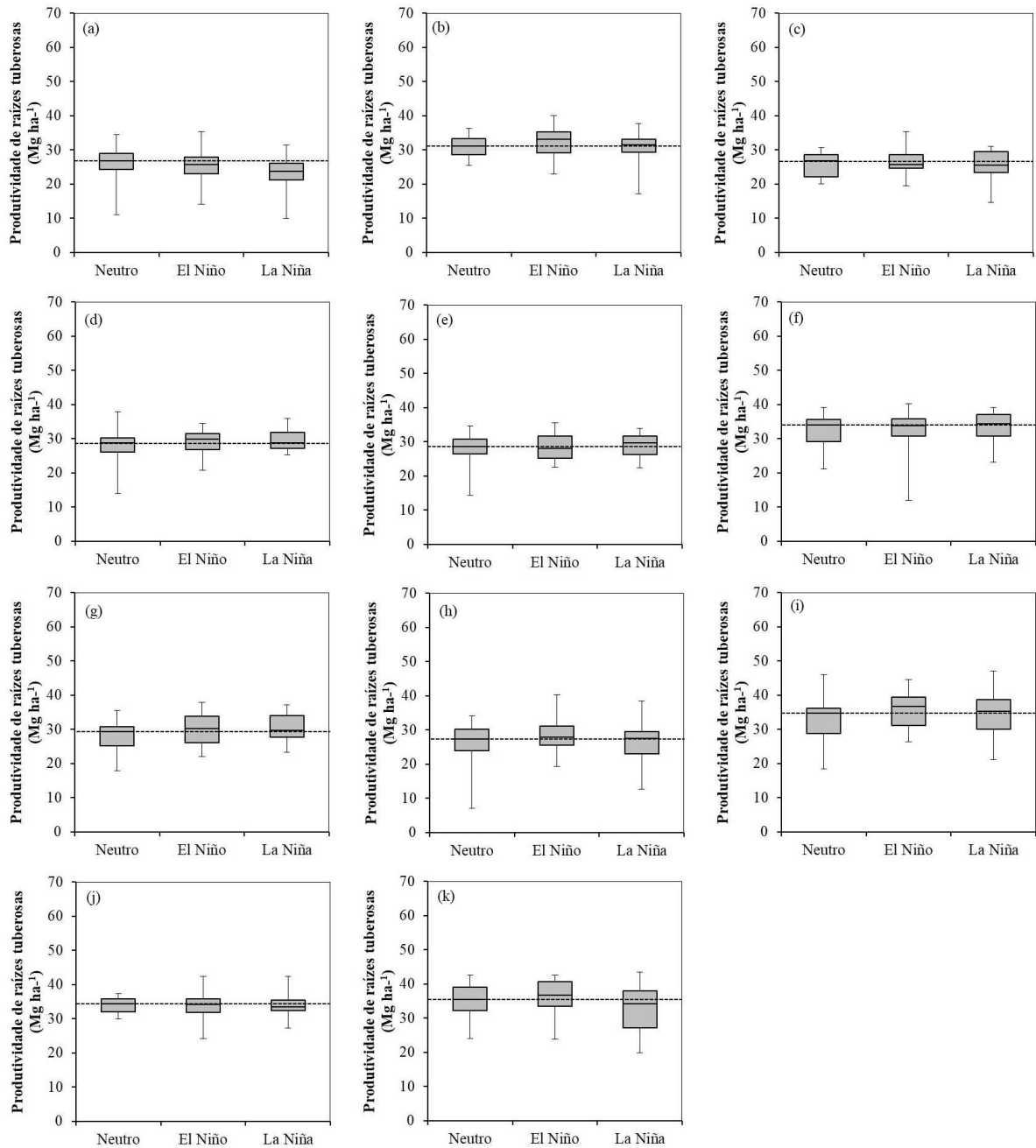


Tabela 8 – Porcentagem de anos com produtividade de raízes tuberosas de mandioca acima da produtividade média dos anos classificados como Neutros nos níveis tecnológicos alto (NTA), médio (NTM) e baixo (NTB).

Locais	NTA		NTM		NTB	
	EL	LA	EL	LA	EL	LA
Bagé	43%	39%	38%	16%	43%	22%
Cruz Alta	33%	44%	57%	50%	57%	55%
Encruzilhada do Sul	52%	61%	33%	44%	48%	44%
Passo Fundo	57%	83%	62%	61%	67%	67%
Pelotas	52%	72%	48%	61%	53%	55%
Porto Alegre	33%	72%	57%	72%	62%	72%
Santa Maria	52%	83%	71%	67%	71%	67%
Santana do Livramento	57%	56%	48%	50%	71%	61%
São Luiz Gonzaga	43%	56%	62%	67%	67%	67%
Torres	43%	44%	48%	39%	52%	39%
Uruguaiana	67%	78%	62%	50%	62%	50%

*EL = anos com ocorrência de El Niño; LA = anos com ocorrência de La Niña.

5 CONCLUSÕES

Para a cultivar Vassourinha, o modelo Simanihot está calibrado para simular o crescimento, desenvolvimento e a produtividade de raízes tuberosas e parte aérea da mandioca, nos níveis tecnológicos alto, médio e baixo.

A ocorrência do fenômeno ENOS não ocasiona grande diferença de produtividades (raízes tuberosas e parte aérea) da cultivar Vassourinha. As maiores variabilidades interanual de produtividades simuladas ocorrem em anos neutros.

O atraso na época de plantio em 80 dias determina maior decréscimo da produtividade de raízes tuberosas de mandioca, cultivar Vassourinha, quando cultivada em nível tecnológico baixo.

A produtividade média de massa seca de parte aérea é maior em anos com ocorrência de El Niño, para a maioria dos locais estudados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca. In: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. **Aspectos socioeconômicos da mandioca**. Cruz das Almas, BA; EMBRAPA, Cap.7, p. 138-169, 2006.
- AMMU, D. et al. Process Optimisation for Ready to Eat Tapioca (*Manihot esculenta* Crantz) in High Impact Polypropylene Containers. **Journal of Root Crops**, vol. 43, n. 1, p. 104-110, 2017.
- BARROZO, V. P. et al. COOPERATIVISMO: uma rota para o desenvolvimento socioeconômico dos produtores familiares de mandioca da comunidade de Curumu no município de Alenquer-PA. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 11, n. 3, p. 98-120, 2019.
- BERLATO, M. A. et al. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a Produtividade do Milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília: n. 5, v. 40, p. 423-432, maio 2005.
- 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.
- BEXAIRA, K. P. et al. Coeficientes de Angström-Prescott Para Estimar a Radiação Solar no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 401-411, 2018.
- BOERBOOM, B. W. J. A model of dry matter distribution in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Netherl and Journal of Agricultural Science**, v.26, p.267-277, 1978.
- CÂMARA, G. M. S.; GODOY, O. P. Desempenho vegetativo e produtivo de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) a partir de manivas com diferentes diâmetros. **Scientia agrícola**, v. 5, n. 2, p. 326-333, 1998.
- CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- CARDOSO, C. E. L. **Competitividade e inovação tecnológica na cadeia agroindustrial de fécula de mandioca no Brasil**. 2003. 188p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2003.
- CARVALHO, J. E.; FUKUDA, W.M. G. **Estrutura da planta e morfologia. Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p. 126-137, 2006.
- CASSMAN, K. G. et al. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. **Annual Review of Environmental Resources**, v. 28, p. 315-358, 2003.

CASTIGLIONI, G. L. et al. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. **Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol.17, n. 9, set. 2013.

COCK, J. H. La yuca: nuevo potencial para un cultivo tradicional. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1990. 240 p.

COCK, J.H. et al. The ideal cassava plant for maximum yield. **Crop Science**, v.19, p.271-279, 1979.

COCK, James H. Cassava: new potential for a neglected crop. CRC Press, 2019.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.

DAHLMAN, L. Variabilidade Climática: Índice Oceanic Niño. **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)**. 11 feb. 2016. Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-ni%C3%B1o-index>>. Acesso em: 04 dez. 2019.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

FAGUNDES, L. K. et al. Development, growth and yield of cassava in diferente sowing season in a subtropical region. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, p. 2460-2466, 2010.

FARALDO, M. I. F.; SILVA, R. M.; MARTINS, P. S. Genetic variability of landraces of cassava in geographical regions of Brazil. **Scientia Agricola**. v. 57, 2000, p. 499-505.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Relação entre El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.2, p.39-46, 1996.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAOSTAT... Production, crops. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em 24 de abril de 2019.

FREITAS, D. G. F.; KHAN, A. S.; SILVA, L. M. R. Nível tecnológico e rentabilidade de produção de mel de abelha (*Apis mellifera*) no Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 1, p. 171-188, 2004.

FUKAI, S.; HAMMER, G. L. A simulation model of the growth of the cassava crop and its use to estimate cassava productivity in Northern Australia. **Agricultural Systems**, v.23, p.237-257, 1987.

GABRIEL, L. F. et al. Simulating cassava growth and yield under potential conditions in Southern Brazil. **Agronomy Journal**, v.106, n.4, p. 1119-1137, 2014.

GABRIEL, L. F. Simulação da produtividade de mandioca para o estado do Rio Grande do Sul. 2013. 92p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

GIJZEN, H. et al. Simulation of dry matter production and distribution in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Netherland Journal of Agricultural Science**, v.38, p.159-173, 1990.

GOLDEN GATE WHEATHER SERVICES. **El Niño e La Niña Anos e intensidades Based on Oceanic Ni ± o Index**. Disponível em: <<https://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em: 4 jan. 2020.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 25, ed.4, p. 537-554, 2011.

GRIMM, et al. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño Nio and La Niña Events. **Journal of Climate**, v.11, 1998.

GUIMARÃES, M. J. M. et al. Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de mandioca. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, 2019.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola. 2020. <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1618#resultado>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2020.

JANSSEN, P. H. M.; HEUBERGER, P. S. C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**, v. 83, n. 1-2, p. 55-66, 1995.

KHAN, A. S. et al. Adoção de Tecnologia na Produção de Cana-de-açúcar na Região do Cariri, Ceará. **Revista Sober**, 2002.

KIM, S. et al. Modeling temperature responses of leaf growth, development, and biomass in maize with MAZSIM. **Agronomy Journal**, v. 104, p. 1523-1537, 2012.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências exatas, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2016.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, v.26, p.321-328, 2002.

L'HEUREUX, M. What is the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) in a nutshell? **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)**. 05 may 2014. Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/what-el-ni%C3%B1o%E2%80%93southern-oscillation-enso-nutshell>>. Acesso em 9 de dez. 2019.

- LORENZI, J. O. **Mandioca**. Campinas: CATI, 2003. 116 p. (Boletim Técnico, 245).
- MALDANER, I. C. et al. Modelos de determinação não destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**, v.39, p.1356-1361, 2009.
- MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; MALUF, D.E. Zoneamento Agroclimático da Mandioca no Estado do Rio Grande do Sul – Uma alternativa para a produção de etanol. Boletim Fepagro. Fepagro, Porto Alegre, 2011.
- MATTHEWS, R. B.; HUNT, L. A. GUMCAS: a model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). **Field Crops Research**, v.36, n. 1, p. 69-84, 1994.
- MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, 2018.
- MITHRA, V. S. S.; RADHAKRISHNAN, A. R. S.; LEKSHMANAN, D. K. Computer Simulation of Cassava Growth. **Cassava**, p.69, 2018.
- MODESTO JUNIOR, E. N.; CHISTÉ, R. C.; DA SILVA, R. P. Oven drying and hot water cooking processes decrease HCN contents of cassava leaves. **Food Research International**, v. 119, p. 517-523, 2019.
- MODESTO JUNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. Cultura da mandioca: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria. Embrapa Amazônia Oriental – Livro Científico, 2016.
- MORELL, F. J. et al. Can crop Simulation models be used to predict local to regional maize yields and total production in the U.S. Corn Belt? **Field Crops Research**, v.192, p.1-12, 2016.
- MOTA, F. S. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento do arroz irrigado na região de Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 2, p. 21-24, 2000.
- NOLASCO, C. A. **Caracterização citogenética e morfológica de híbridos de mandioca (*Manihot esculenta*)**. 2011. 46 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 2011.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU. 17 jun.2019. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/>> Acesso em: 8 jan. 2020.
- PAGANI, V. et al. Forecasting sugarcane yields using agro-climatic indicators and Canegro model: A case study in the main production region in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 154, p. 45-52, 2017.
- PEPRAH, B.B. et al. Genetic variability, stability and heritability for quality and yield characteristics in provitamin A cassava varieties. **Euphytica**, v. 216, n. 2, p. 31, 2020.

RICHTER, G. L. et al. Estimativa da área foliar de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, v.73, p.416-425, 2014.

ROSA, H. T.; STRECK, N. A.; WALTER, L. C.; RIBAS, G. G.; CARLI, C.; MARCHESAN, E. Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.1159-1165, 2015.

SAMBORANHA, F. K. et al. Mathematical modeling of leaf development in the cassava. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 815-824, 2013.

SANGOI, L. et al. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1021-1029, 2003.

SANTOS, A. T. L. **Cultivo de mandioca no Rio Grande do Sul sob influência do Fenômeno ENOS utilizando o modelo Simanihot**. 2017. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.

SCHONS, A. et al. Arranjos de plantas de mandioca e milho em cultivo solteiro e consorciado: crescimento, desenvolvimento e produtividade. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 165-177, 2009.

SÉIBOU, T. M. S. et al. Cassava roots: perspectives of a traditional staple for bio-solvents production. **Czech Journal of Food Sciences**, v.33, n. 2, p. 186-194, 2015.

SENTELHAS, P.C. et al. The soybean yield gap in Brazil-magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v.153, p.1394-1411, 2015.

SETIYONO, T. D. et al. Leaf area index simulation in soybean grown under near-optimal conditions. **Field Crops Research**, v. 108, n. 1, p. 82-92, 2008.

SHIN, D. W. et al. Assessing maize and peanut yield simulation with various seasonal climate data in the Southeastern United States. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.49, n. 4, p. 592-603, 2010.

SHIN, D. W. et al. The role of an advanced land model in seasonal dynamical downscaling for crop model application. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 45, n. 5, p. 686-701, 2006.

SILVA, G. D. L. S. et al. Determining a model to estimate leaf area in Pornunça (Manihot sp.) using morphometric measures. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 39, n. 4, p. 351-356, 2017.

SIMUNEK, J. et al., *The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media, Version 4.16*, HYDRUS Software Series 2, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, USA, pp.340, 2013.

SOUZA, A. P de. et al. Rooting for cassava: insights into photosynthesis and associated physiology as a route to improve yield potential. *New Phytologist*, v. 213, n. 1, p. 50-65, 2017.

SOUZA, R. F. et al. Análise econômica no cultivo da mandioca. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 345-354, 2014.

STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre: EMATER / RS-Ascar, 2008. 222p.

STRECK, N.A. et al. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.115, n. 3, p. 139-150, 2003.

STRECK, N.A. et al. SimulArroz: um aplicativo para estimar a produtividade de arroz no Rio Grande do Sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO**. v. 8, p. 1618-1627, 2013.

SUN, X. et al. A global analysis of the asymmetric effect of ENSO on extreme precipitation. **Journal of Hydrology**, v. 530, p. 51-65, nov. 2015.

TAGLIAPIETRA, B. L. et al. Mandioca para alimentação humana e animal. Santa Maria: [s. n.], p. 104, 2019.

THORTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**, v.3, p. 1-104, 1955.

TIRONI, L. F. et al. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, Campinas, v.74, n. 1, p.58-66, 2014.

TIRONI, L. F. et al. **Ecofisiologia da Mandioca Visando Altas Produtividades**. 1. ed. Santa Maria. Ed. GR, p. 136, 2019.

TIRONI, L. F. et al. SIMANIHOT: a process-based model for simulating growth, development and productivity of cassava. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 3, 2017.

TOEBE, M. et al. Área Foliar de Feijão-Vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em função das dimensões foliares. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, p.2491-2500, 2012.

TORREZ, J. A. C. La Agricultura Convencional, como nivel tecnollógico dominante en el Estado Plurinacional de Bolivia. **APTHAPI**, v. 3, p., 894, 2017.

UHLMANN, L. O. et al. PhenoGlad: A model for simulating development in *Gladiolus*. **European Journal of Agronomy**, v. 82, p. 33-49, 2017.

VILPOUX, O. Desempenho dos arranjos institucionais e minimização dos custos de transação: transações entre produtores e fecularias de mandioca. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 49, n. 2, p. 271-294, 2011.

WALLACH, D. et al. Evaluating crop models. Working with Dynamic Crop Models Evaluation, Analysis, Parameterization, and Applications, Elsevier, Amsterdam, p. 11-54, 2006.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics para avaliação e comparação de modelos. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, 2015.

XUE, Q.; WEISS, A.; BAENZIGER, P. S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, v. 175, n. 3, p. 261-270, 2004.

ZANETTI, S. et al . Leaf area estimation of cassava from linear dimensions. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, Rio de Janeiro , v. 89, n. 3, p. 1729-1736, Sept. 2017.

WALKER, G. T. Correlation in seasonal variation of weather. VIII: A preliminary study of world weather. **Memoirs of India Meteorological Department**, v. 24, p. 75-131, 1923.

7 ANEXOS

Anexo 1 – Equações estimadas pelas curvas de regressão da produtividade média de raízes tuberosas cultivadas no nível tecnológico alto decorrentes das fases do fenômeno ENOS e do local de plantio.

LOCAL	FASES DO ENOS	EQUAÇÃO	R ²
Bagé	Neutro	$-0,0000488x^3 + 0,04083x^2 - 11,47x + 1128$	0,9994
	El Niño	$-0,00003594x^3 + 0,02928x^2 - 8,038x + 789,8$	0,9999
	La Niña	$0,00002108x^3 - 0,02101x^2 + 6,668x - 637,8$	0,9993
Bom Jesus	Neutro	$0,000001723x^3 - 0,003034x^2 + 1,069x - 64,11$	99,98
	El Niño	$-0,000005176x^3 + 0,003733x^2 - 1,1125x + 11,2$	1,00
	La Niña	$-0,000001481x^3 + 0,000593x^2 - 0,2026x + 73,48$	0,9994
Caxias do Sul	Neutro	$-0,000002236x^3 + 0,0001993x^2 + 0,14x + 43,95$	0,9998
	El Niño	$-0,0000005291x^3 - 0,001204x^2 + 0,5295x + 5,52$	1,00
	La Niña	$0,000007359x^3 - 0,007262x^2 + 2,048x - 121,3$	0,9999
Cruz Alta	Neutro	$-0,00008794x^3 + 0,07576x^2 - 21,81x + 2147$	0,9678
	El Niño	$-0,0001004x^3 + 0,08692x^2 - 25,1x + 2466$	0,9783
	La Niña	$-0,00003514x^3 + 0,02897x^2 - 8,085x + 813,9$	0,9881
Encruzilhada do Sul	Neutro	$-0,00002785x^3 + 0,02176x^2 - 5,746x + 561,9$	0,9999
	El Niño	$-0,00002267x^3 + 0,01723x^2 - 4,456x + 441,6$	1,00
	La Niña	$0,000007983x^3 - 0,009136x^2 + 3,041x - 263,9$	0,9979
Iraí	Neutro	$-0,00001375x^3 + 0,0129x^2 - 4,128x + 493,4$	0,9968
	El Niño	$-0,00002887x^3 + 0,02666x^2 - 8,255x + 899,5$	0,9921
	La Niña	$-0,00004669x^3 + 0,04131x^2 - 12,26x + 1266$	0,9889
Passo Fundo	Neutro	$0,0000001256x^3 - 0,002698x^2 + 1,281x - 98,73$	1,00
	El Niño	$-0,000004233x^3 + 0,00009035x^2 + 0,7802x - 79,06$	0,9986
	La Niña	$-0,00003915x^3 - 0,03675x^2 + 11,09x - 1031$	0,9997
Pelotas	Neutro	$-0,00005795x^3 + 0,0489x^2 - 13,81x + 1353$	0,9982
	El Niño	$-0,00006363x^3 + 0,05373x^2 - 15,18x + 1482$	0,9987
	La Niña	$-0,000008302x^3 + 0,004516x^2 - 0,6836x + 70,04$	0,9955
Porto Alegre	Neutro	$-0,000001138x^3 + 0,003241x^2 - 1,652x + 271,7$	0,9467
	El Niño	$0,000003109x^3 + 0,00003077x^2 - 0,8669x + 206,9$	0,9864
	La Niña	$-0,00001334x^3 + 0,01364x^2 - 4,614x + 555,4$	0,9844
Santa Maria	Neutro	$-0,00006567x^3 + 0,05663x^2 - 16,26x + 1597$	0,9450
	El Niño	$-0,00006657x^3 + 0,05893x^2 - 17,42x + 1760$	0,9694
	La Niña	$-0,00004906x^3 + 0,0426x^2 - 12,39x + 1251$	0,9927
Santana do Livramento	Neutro	$-0,00003972x^3 + 0,03347x^2 - 9,508x + 955,9$	0,9921
	El Niño	$-0,000006657x^3 + 0,00379x^2 - 0,6795x + 85,29$	0,9983
	La Niña	$0,000006809x^3 - 0,007296x^2 + 2,322x - 181,4$	0,9999
São Luiz Gonzaga	Neutro	$-0,00001468x^3 + 0,01437x^2 - 4,689x + 551,2$	0,9559
	El Niño	$-0,000007038x^3 + 0,008772x^2 - 3,393x + 456,8$	0,9979
	La Niña	$-0,0000243x^3 + 0,02283x^2 - 7,163x + 791,1$	0,9956
Torres	Neutro	$-0,00007158x^3 + 0,06093x^2 - 17,32x + 1698$	0,9990
	El Niño	$-0,0000447x^3 + 0,03833x^2 - 11x + 1105$	0,9972
	La Niña	$-0,00002492x^3 + 0,01989x^2 - 5,358x + 539,1$	0,9997
Uruguaiana	Neutro	$-0,00005351x^3 + 0,04802x^2 - 14,35x + 1471$	0,7998
	El Niño	$-0,00005896x^3 + 0,05217x^2 - 15,42x + 1567$	0,9753
	La Niña	$-0,00005377x^3 + 0,04805x^2 - 14,32x + 1466$	0,9093

Anexo 2 – Equações: estimativa da produtividade de raízes tuberosas cultivadas no nível tecnológico médio decorrentes das fases do fenômeno ENOS e do local de plantio.

LOCAL	FASES DO ENOS	EQUAÇÃO	R ²
Bagé	Neutro	$-0,00001705x^3 + 0,01416x^2 - 4,069x + 433,5$	0,9996
	El Niño	$-0,00001819x^3 + 0,01555x^2 - 4,61x + 496,8$	0,9984
	La Niña	$0,000005885x^3 - 0,006364x^2 + 2,035x - 174,8$	0,9997
Bom Jesus	Neutro	$0,000008427x^3 - 0,008098x^2 + 2,358x - 191,1$	0,9998
	El Niño	$0,00002026x^3 - 0,001904x^2 + 0,374x + 18,98$	1,00
	La Niña	$0,000007035x^3 - 0,006303x^2 + 1,692x - 118$	0,9994
Caxias do Sul	Neutro	$0,000004488x^3 - 0,004819x^2 + 1,393x - 81,51$	0,9997
	El Niño	$-0,00000003198x^3 - 0,0006354x^2 + 0,1196x + 44,6$	1,00
	La Niña	$0,00000903x^3 - 0,008315x^2 + 2,283x - 160,1$	0,9999
Cruz Alta	Neutro	$-0,00001946x^3 + 0,01659x^2 - 4,925x + 538,3$	0,9978
	El Niño	$-0,00003935x^3 + 0,03453x^2 - 10,3x + 1074$	0,9988
	La Niña	$-0,000005706x^3 + 0,004011x^2 - 1,117x + 156,1$	1,00
Encruzilhada do Sul	Neutro	$-0,000006474x^3 + 0,004415x^2 - 1,124x + 138,5$	0,9998
	El Niño	$-0,00000873x^3 + 0,006568x^2 - 1,812x + 211,7$	0,9999
	La Niña	$0,000009973x^3 - 0,009935x^2 + 3,014x - 256,5$	0,9989
Iraí	Neutro	$0,00003354x^3 - 0,02876x^2 + 7,841x - 637,4$	0,9991
	El Niño	$0,00003063x^3 - 0,02583x^2 + 6,864x - 530,7$	1,00
	La Niña	$-0,000005652x^3 + 0,005801x^2 - 2,246x + 335,6$	1,00
Passo Fundo	Neutro	$0,000004335x^3 - 0,005040x^2 + 1,595x - 116,9$	0,9999
	El Niño	$-0,000007483x^3 + 0,004996x^2 - 1,236x + 150,4$	0,9985
	La Niña	$0,00002631x^3 - 0,02455x^2 + 7,307x - 667,1$	0,9998
Pelotas	Neutro	$-0,00001385x^3 + 0,01129x^2 - 3,236x + 354,9$	0,9992
	El Niño	$-0,2709x^3 + 0,02317x^2 - 6,779x + 705,5$	0,9977
	La Niña	$0,000004456x^3 - 0,005344x^2 + 1,765x - 141,8$	0,9985
Porto Alegre	Neutro	$0,00004753x^3 - 0,04071x^2 + 11,28x - 978$	0,9995
	El Niño	$0,00004457x^3 - 0,0376x^2 + 10,21x - 859,8$	0,9996
	La Niña	$0,00002374x^3 - 0,01985x^2 + 5,207x - 389,7$	0,9997
Santa Maria	Neutro	$-0,000005036x^3 + 0,004561x^2 - 1,575x + 222,4$	0,9930
	El Niño	$-0,00001002x^3 + 0,009659x^2 - 3,323x + 423,7$	0,9976
	La Niña	$-0,00001097x^3 + 0,009747x^2 - 3,111x + 378,6$	0,9996
Santana do Livramento	Neutro	$-0,000001005x^3 + 0,0002635x^2 - 0,1005x + 57,69$	0,9978
	El Niño	$0,00001357x^3 - 0,01265x^2 + 3,65x - 298,6$	0,9987
	La Niña	$0,00001936x^3 - 0,0178x^2 + 5,204x - 458,6$	0,9998
São Luiz Gonzaga	Neutro	$0,00003597x^3 - 0,03068x^2 + 8,395x - 700,4$	0,9992
	El Niño	$0,00004557x^3 - 0,03856x^2 + 10,48x - 875,5$	0,9998
	La Niña	$0,0000186x^3 - 0,01517x^2 + 3,797x - 247,1$	0,9998
Torres	Neutro	$-0,00001697x^3 + 0,01413x^2 - 4,138x + 459,5$	0,9995
	El Niño	$-0,000006143x^3 + 0,005062x^2 - 1,639x + 232,9$	0,9999
	La Niña	$0,000002197x^3 - 0,002929x^2 + 0,8912x - 32,17$	0,9997
Uruguaiana	Neutro	$0,00002113x^3 - 0,01802x^2 + 4,816x - 363,3$	0,9964
	El Niño	$0,00001246x^3 - 0,01016x^2 + 2,425x - 120,2$	0,9989
	La Niña	$0,000009416x^3 - 0,007798x^2 + 1,879x - 87,13$	0,9971

Anexo 3 – Equações: estimativa da produtividade de raízes tuberosas cultivadas no nível tecnológico baixo decorrentes das fases do fenômeno ENOS e do local de plantio.

LOCAL	FASES DO ENOS	EQUAÇÃO	R ²
Bagé	Neutro	$-0,000009238x^3 + 0,007442x^2 - 2,141x + 241,6$	0,9996
	El Niño	$-0,0000131x^3 + 0,01115x^2 - 3,313x + 362,4$	0,9996
	La Niña	$0,000007035x^3 - 0,007223x^2 + 2,265x - 201,8$	0,9997
Bom Jesus	Neutro	$0,000008485x^3 - 0,008053x^2 + 2,352x - 197,8$	0,9999
	El Niño	$0,00000305x^3 - 0,002755x^2 + 0,646x - 16,38$	1,00
	La Niña	$0,00000677x^3 - 0,00607x^2 + 1,653x - 122,1$	0,9994
Caxias do Sul	Neutro	$0,000002785x^3 - 0,003195x^2 + 0,9341x - 48,55$	0,9998
	El Niño	$0,000001154x^3 - 0,001534x^2 + 0,3868x + 8,818$	1,00
	La Niña	$0,00000876x^3 - 0,00803x^2 + 2,229x - 166$	0,9999
Cruz Alta	Neutro	$-0,00001287x^3 + 0,01077x^2 - 3,177x + 354,5$	0,9990
	El Niño	$-0,00002112x^3 + 0,01826x^2 - 5,448x + 584,1$	0,9996
	La Niña	$-0,0000002969x^3 - 0,0006618x^2 + 0,2617 + 11,55$	1,00
Encruzilhada do Sul	Neutro	$-0,000003604x^3 + 0,002202x^2 - 0,5338x + 78,28$	0,9998
	El Niño	$-0,000003252x^3 + 0,00199x^2 - 0,5144x + 81,86$	0,9998
	La Niña	$0,000009477x^3 - 0,009252x^2 + 2,777x - 238$	0,9993
Iraí	Neutro	$0,00002403x^3 - 0,02068x^2 + 5,625x - 449,9$	0,9989
	El Niño	$0,00002227x^3 - 0,01908x^2 + 5,134x - 399,3$	0,9998
	La Niña	$0,00002491x^3 - 0,001689x^2 + 0,08231x + 85,13$	0,9996
Passo Fundo	Neutro	$0,000004779x^3 - 0,005135x^2 + 1,574x - 119,2$	0,9999
	El Niño	$-0,0000007847x^3 - 0,0005173x^2 + 0,2996x - 0,5341$	0,9992
	La Niña	$0,00001693x^3 - 0,01594x^2 + 4,738x - 422,8$	0,9998
Pelotas	Neutro	$-0,000005668x^3 + 0,004188x^2 - 1,165x + 146,7$	0,9993
	El Niño	$-0,00001546x^3 + 0,013x^2 - 3,803x + 409,3$	0,9990
	La Niña	$0,000008515x^3 - 0,008699x^2 + 2,707x - 237,3$	0,9988
Porto Alegre	Neutro	$0,000002615x^3 - 0,002372x^2 + 0,5339x + 2,583$	0,9949
	El Niño	$-0,000005099x^3 + 0,004824x^2 - 1,723x + 241,3$	0,9984
	La Niña	$-0,000001841x^3 + 0,001458x^2 - 0,58x + 114$	0,9996
Santa Maria	Neutro	$0,000002615x^3 - 0,002372x^2 + 0,5339x + 2,583$	0,9949
	El Niño	$-0,000005099x^3 + 0,004824x^2 - 1,723x + 241,3$	0,9984
	La Niña	$-0,000001841x^3 + 0,001458x^2 - 0,58x + 114$	0,9996
Santana do Livramento	Neutro	$0,0000002235x^3 - 0,0008388x^2 + 0,2627x + 10,07$	0,9988
	El Niño	$0,000009529x^3 - 0,008965x^2 + 2,576x - 203,4$	0,9989
	La Niña	$0,00001425x^3 - 0,01328x^2 + 3,917x - 345,3$	0,9998
São Luiz Gonzaga	Neutro	$0,00002492x^3 - 0,02151x^2 + 5,935x - 494,6$	0,9992
	El Niño	$0,00002488x^3 - 0,02111x^2 + 5,67x - 450$	0,9997
	La Niña	$0,00001101x^3 - 0,009166x^2 + 2,294x - 137$	0,9999
Torres	Neutro	$-0,000006057x^3 + 0,004497x^2 - 1,282x + 168,9$	0,9997
	El Niño	$-0,0000009603x^3 + 0,0002422x^2 - 0,1176x + 64,84$	1,00
	La Niña	$0,000005708x^3 - 0,006032x^2 + 1,84x - 138,1$	0,9998
Uruguaiana	Neutro	$0,00001749x^3 - 0,01528x^2 + 4,204x - 333,2$	0,9972
	El Niño	$0,00001061x^3 - 0,008937x^2 + 2,238x - 129,5$	0,9987
	La Niña	$0,00001105x^3 - 0,009664x^2 + 2,594x - 183,3$	0,9977