

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

GLÉDSON LEITE LEAL

**POTENCIAL PARA ESTABELECIMENTO E PRODUÇÃO DA CULTIVAR DE
CAPIM-SUDÃO BRS ESTRIBO (*SORGHUM SUDANENSE L.*) NA REGIÃO SUL DO
BRASIL COM BASE NO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E TÉCNICAS DE
ESTATÍSTICA ESPACIAL**

BAGÉ

2021

GLÉDSON LEITE LEAL

POTENCIAL PARA ESTABELECIMENTO E PRODUÇÃO DA CULTIVAR DE
CAPIM-SUDÃO BRS ESTRIBO (*SORGHUM SUDANENSE L.*) NA REGIÃO SUL DO
BRASIL COM BASE NO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E TÉCNICAS DE
ESTATÍSTICA ESPACIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Computação Aplicada como re-
quisito parcial para a obtenção do título de Mes-
tre em Computação Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Alexandro Gularte Schä-
fer

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Trentin

BAGÉ

2021

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

— Leite Leal, Glédson
potencial para estabelecimento e produção da cultivar de Capim-Sudão BRS
Estribo (*Sorghum Sudanense L.*) na Região Sul do Brasil com base no balanço
hídrico climatológico e técnicas de estatística espacial / Glédson Leite Leal. -
Bagé, 2021-
94p.

Dissertação(Mestrado) - - Universidade Federal do Pampa, , 2021.

"Orientação: Prof. Dr. Alexandre Gularde Schäfer"

1. Precipitação. 2. Evapotranspiração. 3. Interpolação. 4. SIG. I. Título.

GLÉDSON LEITE LEAL

**POTENCIAL PARA ESTABELECIMENTO E PRODUÇÃO DA CULTIVAR DE
CAPIM-SUDÃO BRS ESTRIBO (*SORGHUM SUDANENSE L.*) NA REGIÃO SUL DO
BRASIL COM BASE NO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E TÉCNICAS DE
ESTATÍSTICA ESPACIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Computação Aplicada
como requisito parcial para a obtenção do
título de Mestre em Computação Aplicada

Dissertação defendida e aprovada em 21 de maio de 2021
pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Gularde Schäfer
Orientador

Prof. Dr. Marcelo Romero de Moraes
Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Naylor Bastiani Perez
Embrapa Pecuária Sul

Prof. Dr. Paulo Roberto Megna Francisco
Universidade Federal de Campina Grande

Este trabalho é dedicado à minha família, que por algum motivo me aguenta.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Alexandre Schäfer pela orientação e paciência em todas as fases na produção deste trabalho. Não foram poucas vezes que precisei recorrer aos conhecimentos e estímulos do Professor Alexandre para dar prosseguimento ao estudo.

Ao professor Dr. Gustavo Trentin pela orientação e ensinamentos pontuais, sucintos mas de extrema relevância. Pela paciência em repassar seus conhecimentos, outrora desconhecidos por mim, de forma apaixonada, demonstrando o comprometimento com sua profissão.

À Universidade Federal do Pampa e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA Pecuária Sul, aos seus professores, pesquisadores, colegas e amigos.

À Banca examinadora pela predisposição e o tempo dedicado na avaliação deste trabalho.

Aos meus familiares, pelo apoio, dedicação, amor, compreensão pelos inúmeros finais de semana e feriados que não pude estar presente, porque estava em busca de um sonho, que está se tornando realidade. Amo vocês!

“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo, mas transformai-vos pela renovação da mente, a fim de distinguir qual é a vontade de Deus: o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.”
(Bíblia Sagrada, Romanos 12:2)

RESUMO

O conhecimento da disponibilidade hídrica para produção de qualquer produto agropecuário é um dos componentes necessários para o sucesso de seu desenvolvimento. A quantidade de água disponível no solo pode ser quantificada através do Balanço Hídrico Climatológico (BHC), determinando as potencialidades e fragilidades para a utilização de uma região agrícola. Neste trabalho, a cultura analisada foi uma forrageira de clima tropical, o capim-sudão BRS Estrobo que é de produção anual, de hábito ereto, porte alto, sendo atóxica aos animais. A área de estudo foram os Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul que compõem a Região Sul do Brasil. Através do BHC, foi possível determinar as áreas com excessos e deficiências hídricas em toda a Região Sul do Brasil, através de técnicas de Geoestatística e Geoprocessamento, com apoio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Nesta análise, foram usados os dados de precipitação e evapotranspiração das 566 estações pluviométricas e meteorológicas, oriundas do Atlas Climatológico da Região Sul do Brasil, em um período histórico de 30 anos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi espacializar o BHC, na Região Sul do Brasil, com a finalidade de estimar as possíveis áreas com deficiências e excessos hídricos na produção do capim-sudão, em dois períodos de semeadura, o primeiro, entre outubro a março e o segundo, entre dezembro a março, com capacidades de armazenamento (CAD) de 50 e 75mm. A primeira semeadura apresentou grandes áreas sem excedente hídrico, nos meses de dezembro e janeiro, a exemplo da Campanha Gaúcha. O mês de outubro apresentou as maiores médias de excedente hídrico, com valores entre 57 e 341mm. À partir de novembro, começam as ocorrências de estações sem apresentar excedente hídrico. Na segunda semeadura, o mês de dezembro apresentou uma média de 95mm de excedente hídrico e o município de Paranaguá apresentou a maior média com 310mm. Concluiu-se que nos dois períodos de semeadura, a produção do capim-sudão praticamente não apresentou regiões com deficiência hídrica.

Palavras-chaves: Precipitação. Evapotranspiração. Interpolação. SIG.

ABSTRACT

The knowledge of water availability for the production of any agricultural product is one of the necessary components for the success of its development. The amount of water available in the soil can be quantified through the Climatological Water Balance (BHC), determining the strengths and weaknesses for the use of an agricultural region. In this work, the analyzed crop was a forage plant from a tropical climate, the Sudan grass BRS Eistrobo, which has an annual production, erect habit, tall, and is non-toxic to animals. The study region was the States of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul that make up the Southern Region of Brazil. Through the BHC, it was possible to determine the areas with water excesses and deficiencies throughout the southern region of Brazil, through Geostatistics and Geoprocessing techniques, with the support of a Geographic Information System (GIS). In this analysis, precipitation and evapotranspiration data from 566 pluviometric and meteorological stations were used, from the Climatological Atlas of the Southern Region of Brazil, in a historical period of 30 years. In this context, the objective of this work was to spatialize the BHC, in the southern region of Brazil, in order to estimate the possible areas with water deficiencies and excesses in the production of sudão grass, in two sowing periods, the first, between October and March and the second, from December to March, with storage capacities (CAD) of 50 and 75mm. The first sowing showed large areas without excess water, in December and January, like the Campanha Gaúcha. The month of October had the highest averages of water surplus, with values between 57 and 341mm. From November onwards, seasons begin without presenting excess water. In the second sowing, the month of December had an average of 95mm of water surplus and the municipality of Paranaguá had the highest average with 310mm. It was concluded that in the two sowing periods, Sudan grass production practically did not present regions with water deficit.

Key-words: Water balance. Interpolation. GIS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Capim-Sudão BRS Estribo	20
FIGURA 2 – Etapas do desenvolvimento do trabalho	33
FIGURA 3 – Localização da Área de Estudo	35
FIGURA 4 – Modelo de um semivariograma	39
FIGURA 5 – Estações pluviométricas espacializadas na Região Sul do Brasil .	40
FIGURA 6 – Médias mensais de precipitação na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	43
FIGURA 7 – Médias mensais de evapotranspiração na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	43
FIGURA 8 – Extrato do balanço hídrico climatológico em alguns municípios da Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005. Valores expressos em mm	45
FIGURA 9 – Fluxograma para a produção das imagens espacializadas	47
FIGURA 10 – Semivariogramas plotados para médias mensais de precipitação na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	48
FIGURA 11 – Médias mensais de precipitação espacializadas na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	49
FIGURA 12 – Médias mensais de evapotranspiração espacializadas na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	50
FIGURA 13 – Fluxograma para a produção das imagens espacializadas da resultante do BHC	52
FIGURA 14 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	53
FIGURA 15 – Deficiência Hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	54
FIGURA 16 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	55
FIGURA 17 – Deficiência Hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	56
FIGURA 18 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 100mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	57

FIGURA 19 – Deficiência Hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 100mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	58
FIGURA 20 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 125mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	59
FIGURA 21 – Deficiência hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 125mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	60
FIGURA 22 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 150mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	61
FIGURA 23 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 150mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	62
FIGURA 24 – 1ª Semeadura do capim sudão - Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	64
FIGURA 25 – 1ª Semeadura do capim sudão - Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	65
FIGURA 26 – 1ª Semeadura do capim sudão - Deficiência hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	66
FIGURA 27 – 1ª Semeadura do capim sudão - Deficiência hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	67
FIGURA 28 – 2ª Semeadura do capim sudão - Excedente hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	69
FIGURA 29 – 2ª Semeadura do capim sudão - Excedente hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	70

FIGURA 30 – 2 ^a Semeadura do capim sudão - Deficiência hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	70
FIGURA 31 – 2 ^a Semeadura do capim sudão - Deficiência hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Entradas e Saídas do cálculo do Balanço Hídrico	36
TABELA 2 – Estatística descritiva dados pluviométricos na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005 (mm)	41
TABELA 3 – Estatística descritiva dados de evapotranspiração na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005 (mm)	42
TABELA 4 – Estatística Moran / para os valores de precipitação e evapotranspiração da Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005	44
TABELA 5 – Valores de Kc	63
TABELA 6 – Valores de Kc aplicados nas duas semeaduras para o capim sudão	64
TABELA 7 – Extrato do BHC da cidade de Bagé/RS (mm)	81
TABELA 8 – Extrato do BHC da cidade de Londrina/PR (mm)	81
TABELA 9 – Extrato do BHC da cidade de Uruguaiana/RS (mm)	82
TABELA 10 – Extrato do BHC da cidade de Paranaguá/PR (mm)	82
TABELA 11 – Extrato do BHC da cidade de São Joaquim/PR (mm)	83
TABELA 12 – Localização das estações de monitoramento na Região Sul do Brasil usadas neste estudo	89

LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

ABIEC Associação Brasileira das Indústrias Exploradoras de Carnes

ALT Alteração no Armazenamento

ANA Agência Nacional de Águas

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

ARM Armazenamento de Água do Solo

BHC Balanço Hídrico Climatológico

CAD Capacidade de Água Disponível

CAD Computer-Aided Design

DEF Deficiência Hídrica

DPI Divisão do Processamento de Imagens

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAGRI Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

ETP Evapotranspiração Potencial

ETR Evapotranspiração Real

ET_m Evapotranspiração de Cultura

EXC Excedente Hídrico

FAO Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

FEPAGRO Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária

GIS Geographic Information System

IAPAR Instituto Agronômico do Paraná

INMET Instituto Nacional de Meteorologia

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

ISNA Índice de Satisfação da Necessidade de Água para a Cultura

Kc Coeficiente de Cultura

NEG ACUM Negativo Acumulado

ONU Organização das Nações Unidas

P Precipitação

SARRA Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques

SNPA Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária

WGS 84 World Geodetic System of 1984

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔARM Variação de Armazenamento de Água no Volume Considerado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	JUSTIFICATIVA	19
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	22
1.3	OBJETIVOS	22
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	22
2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	BALANÇO HÍDRICO	23
2.2	CAPIM-SUDÃO BRS ESTRIBO	24
2.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	25
2.3.1	Métodos de Análise de Dados Geográficos	25
2.3.1.1	Dependência Espacial dos Dados	27
2.4	TRABALHOS CORRELATOS	28
2.4.1	Detalhamento dos Trabalhos Reportados	29
3	METODOLOGIA	33
3.1	DEFINIÇÃO DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	33
3.2	CONCEPÇÃO DO TRABALHO	34
3.2.1	Definição do tipo de pesquisa	34
3.2.2	Delimitação da área de estudo	34
3.3	TRATAMENTO DOS DADOS	35
3.3.1	Aquisição dos dados	35
3.3.2	Edição dos dados	36
3.3.3	O Método do Balanço Hídrico	36
3.3.4	Evapotranspiração de Cultura (ETc)	38
3.4	ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS	38
4	RESULTADOS	40
4.1	ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO	40
4.2	APLICAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO	44
4.3	ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS COLETADOS	46
4.4	ESPACIALIZAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO	51
4.5	ESPACIALIZAÇÃO DAS SEMEADURAS DO CAPIM SUDÃO	63
4.5.1	Primeira Semeadura	64
4.5.2	Segunda Semeadura	67

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
	REFERÊNCIAS	74
	APÊNDICES	80
APÊNDICE A	TABELAS DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO EM ALGUMAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL	81
APÊNDICE B	SCRIPTY EM PYTHON PARA O FLUXOGRAMA DE ESPACIALIZAÇÃO DAS MÉDIAS MENSAIS	84
APÊNDICE C	SCRIPTY EM PYTHON PARA O CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO	86
	ANEXOS	88
ANEXO A	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL USADAS NESTE ESTUDO	89

1 INTRODUÇÃO

A população global cresce de forma exponencial, atingindo 7,7 bilhões de pessoas em meados de 2018, um acréscimo de um bilhão de pessoas desde 2007 e dois bilhões desde 1994, conforme ONU, através do relatório "Perspectivas Mundiais de População 2019: Destaques", podendo chegar a 9,7 bilhões em 2050 (UNITED NATIONS; SOCIAL AFFAIRS, 2019). Desta forma, o aumento na produção de alimentos, a exemplo da carne bovina, tornou-se indispensável para abastecer a crescente demanda a procura de alimentos. O consumo de carne bovina representa um dos principais aportes de nutrientes na dieta humana, prevenindo doenças como anemia e servindo de fontes de importantes nutrientes a exemplo de vitaminas do complexo B, além de facilitar o balanceamento das dietas devido a sua elevada densidade energética e nutricional. Para a maioria das pessoas, a falta de carne vermelha pode representar perda na qualidade de vida (MEDEIROS, 2008).

Devido ao seu extenso território e variabilidade de ecossistemas, o Brasil é um dos maiores produtores de carne bovina mundial, situando-se na segunda posição, atingindo 9,5 bilhões de toneladas de carne, sendo resultante de constantes avanços tecnológicos nas últimas quatro décadas (MARCHEZINI *et al.*, 2019). Segundo a Associação Brasileira das Indústrias Exploradoras de Carnes (ABIEC), o Brasil encerrou o ano de 2019 registrando crescimento no Produto Interno Bruto (PIB), que atingiu R\$ 7,3 trilhões. No mesmo período, o PIB da pecuária somou R\$ 618,50 bilhões, 3,5% acima em comparação a 2019, representando 8,5% do PIB total brasileiro, demonstrando sua importância na economia do país (ABIEC, 2020).

A crescente evolução na produção da bovinocultura de corte implica em concorrência de espaço territorial na Região Sul do Brasil (PIRES, 2020). Uma das culturas que competem geograficamente com a pecuária é a soja e, desta forma, surge um grande desafio em aumentar a eficiência econômica e competitiva da atividade (REGERT *et al.*, 2015). Um exemplo desse fato é o ocorrido no município gaúcho de Soledade, onde a expansão da sojicultura, juntamente com outras lavouras, ocupou cerca de 20 mil hectares de pasto nativo e, até o ano de 2013, o número de bovinos caiu 15%, segundo o Sindicato Rural da Cidade (PATRONI, 2013). Em outras regiões brasileiras, a agricultura também avança sobre a pecuária, como em Mato Grosso do Sul, estado que vem sofrendo transformações no modo de produção do gado de corte ao mesmo tempo que se reduz a área ocupada e se mantém o número de rebanho (DIGITAL, 2019).

Para que se mantenha a atividade pecuária de maneira intensiva e competitiva, o uso de pastagens precisa estar elencada a um plano para a reversão da degradação

e o aumento produtivo das pastagens. De acordo com PEREZ e SILVEIRA (2015), a degradação ocorre por diversos fatores, entre eles, a falta de ajuste entre o crescimento do pasto e a taxa de ocupação espacial. No Rio Grande do Sul, a vegetação campestre ainda é considerada a principal fonte de pastagens, incluindo gramíneas e leguminosas forrageiras, compostas e outras famílias. Outro fator que pode elevar a produção pecuária, é a substituição da vegetação natural por pastagens de elevada produção e qualidade (PEREZ; SILVEIRA, 2015).

Além da melhoria das pastagens, com o uso de forrageiras de alta produção, conhecer o clima de uma determinada região é fundamental para a produção animal ou vegetal. Através do balanço hídrico é possível classificar o clima de uma região, determinar espaços territoriais agroclimáticos e ambientais, além de auxiliar os produtores no gerenciamento da capacidade hídrica no solo (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2013). Desta forma, o balanço hídrico pode estimar as áreas onde uma cultura pode ser explorada com maior eficiência (BARRETO *et al.*, 2009).

1.1 JUSTIFICATIVA

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Pecuária Sul, em conjunto com a Sulpasto, desenvolveram uma forrageira anual de verão em 2013, com base no processo de seleção de material genético de capim-sudão comum usado no Estado do Rio Grande do Sul, resultando em um material mais produtivo, rústico e com alto perfilhamento: o Capim-Sudão BRS Estribo, que pode ser observado na Figura 1. Outro diferencial desta cultivar é ser mais precoce para o plantio, produzindo um ciclo produtivo mais longo, apresentando uma melhor produtividade entre os meses de abril e maio (EMBRAPA, 2014). Outra vantagem em comparação a outras plantas forrageiras, é apresentar maior tolerância ao pastejo e ao pisoteio. Além disso, em comparação ao sorgo forrageiro, o campim-sudão BRS Estribo não apresenta toxicidade aos animais (SILVEIRA; SANT'ANNA *et al.*, 2015).

A denominação "BRS" origina-se através de uma deliberação interna da EMBRAPA de maio de 2000, onde foi decidido que a cultivar oriunda de programas de melhoramento da empresa devem receber a denominação BRS seguida de nome fantasia, de acordo com a Unidade obtentora da cultivar. Desde o ano de 2010, as cultivares começaram a receber nomes regionais das localidades do país onde foram desenvolvidas e, por este motivo, o Capim-Sudão recebeu a denominação de Estribo, item de selaria fundamental, pertencente no dia a dia do produtor rural gaúcho (MOURA, 2018).

De acordo com as condições agroclimáticas, o capim sudão diminui sua germinação, em pelo menos 30%, quando em excesso hídrico por um período superior a quatro dias. Em escassez de água, atrasa sua germinação. Por este motivo, a dis-

FIGURA 1 – Capim-Sudão BRS Estribo



Fonte: : Silveira, Sant'Anna e Montardo (2013), adaptado

ponibilidade de água é importante para o correto desenvolvimento desta forrageira. Mesmo em temperaturas elevadas associada a boa quantidade de água, as condições brasileiras não impedem o seu crescimento, uma vez que esta forrageira é oriunda do Sudão. Entretanto, quando a retenção de líquido no solo é inferior a 20% ocorre a redução de crescimento desta cultivar (SILVEIRA; SANT'ANNA *et al.*, 2015).

A quantidade hídrica no solo é um dos componentes necessários para a produção de qualquer espécie forrageira, sendo nativa ou cultivada. Desde a antiguidade, o homem busca alternativas para superar as deficiências de água, seja por armazenamento hídrico ou manipulação genética de cultivares (PIMENTEL, 2004).

Nesse sentido, o conhecimento do balanço hídrico de uma determinada região, originalmente proposto por Thornthwaite e Mather (1955), tem como objetivo determinar as potencialidades e fragilidades para a utilização de uma região agrícola, considerando o volume de água no solo, o fluxo de entrada (precipitação) e saída de água (evapotranspiração), permitindo predizer tanto o excedente hídrico quanto a deficiência hídrica (PEREIRA; SENTELHAS; ANGELOCCI, 2007). A aplicação desta técnica em conjunto a uma determinada espécie forrageira, possibilita determinar quais regiões serão mais propícias para o seu desenvolvimento.

Os principais componentes para o cálculo do balanço hídrico, de acordo com Pereira, Sentelhas e Angelocci (2007), são a precipitação (P), que é um dos componentes de entrada de água no sistema, a Evapotranspiração (ET), um dos principais componentes de perda de água, o armazenamento de água no solo (ARM), a deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC).

De posse das resultantes dos cálculos do Balanço Hídrico, é possível identificar onde uma região poderá possuir as condições necessárias para a produção de uma determinada cultura com maior eficácia, se a mesma metodologia de cálculo for aplicada para todos os locais de uma mesma região (TOMASELLA; ROSSATO, 2005).

Uma das possíveis formas de apresentar as resultantes do Balanço Hídrico aplicado em uma determinada cultura é através de técnicas que possibilitem estimar o potencial de produção com base nas resultantes do Balanço Hídrico. A espacialização de dados climáticos, a exemplo das resultantes do Balanço Hídrico, busca a melhoria de aspectos metodológicos, aprimorar técnicas, gerando ferramentas para aplicação prática para o planejamento do meio físico (MELLO; SILVA, 2013). A computação apresenta recursos que auxiliam na construção dessas ferramentas que empregam complexos cálculos estatísticos e, através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) a construção desses conjuntos de ferramentas tornou-se viável (MELLO; SILVA, 2013).

Os dados observados na natureza, como a média pluviométrica, podem ser organizados em tabelas ou em um banco de dados. De posse destas informações, é possível a aplicação de técnicas de Geoestatística para a espacialização de dados temporais. Dentre os algoritmos matemáticos existentes na Geoestatística, destacam-se os modelos matemáticos de interpolação determinísticos, como o *Inverse Distance Weighting* e o *Radial Basis Functions* e os métodos geoestatísticos, como a krigagem (LUCAS *et al.*, 2014). Mazzini e Schettini (2009) ainda apresentam inúmeros outros métodos de interpolação para dados hidrológicos.

Szentimrey, Bihari e Szalai (2007) afirmam que a matemática de interpolação espacial mais adequada para meteorologia é a geoestatística que apresenta técnicas para a interpolação espacial, como o inverso da distância, o interpolador geoestatístico (krigagem) e a análise do vizinho mais próximo (JAKOB, 2016). A krigagem é o método mais aplicado para dados espaciais, sendo um caso especial de previsão ideal para a aplicação de processos aleatórios no espaço ou em campos aleatórios (STEIN, 2012) e vem apresentando bons resultados com relação à estimativas de dados climáticos, conforme Mello e Silva (2013).

Por meio de soluções computacionais, como a geoespacialização somadas a técnicas de geoestatística, este estudo visa auxiliar na compreensão do balanço hídrico para o cultivo do capim sudão, com a finalidade de adquirir conhecimento em quais áreas da Região Sul do Brasil esta forrageira apresentará um pastejo mais adaptado para o gado de corte. O interesse desse estudo é identificar quais localidades da Região Sul do Brasil que possuam a quantidade hídrica necessária para aprimorar a produção da cultura do Capim Sudão.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Devido à recente origem, o capim sudão ainda necessita de estudos que correlacionam sua produção com aspectos que potencializem seu desenvolvimento. Face ao exposto, um dos nichos de estudo para esta forrageira é a sua necessidade hídrica para seu desenvolvimento. Para tanto, é viável implementar uma metodologia que possa estimar os excessos e deficiências hídricas na produção do capim sudão na Região Sul do Brasil?

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é espacializar as estimativas do Balanço Hídrico Climatológico, expressando as deficiências hídricas e excessos hídricos da forrageira capim sudão, na Região Sul do Brasil.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Analisar os dados coletados das estações meteorológicas;
- Aplicar e analisar o Balanço Hídrico Climatológico na Região Sul do Brasil;
- Aplicar e analisar o coeficiente de cultura do capim sudão na área de estudo;
- Espacializar as resultantes do Balanço Hídrico na Região Sul do Brasil;
- Estimar as áreas com excessos hídricos e deficiências hídricas na produção do capim sudão na Região Sul do Brasil

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma: No Capítulo 2 é abordada a revisão da literatura e o estado da arte, que estabeleceu a fundamentação teórica para o desenvolvimento do estudo. No Capítulo 3 apresentam-se a definição da pesquisa e a proposta metodológica com a finalidade de atingir os objetivos elencados. No Capítulo 4 são apresentados os resultados até aqui alcançados. E, por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais e proposições de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste Capítulo são abordadas as informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa proposta, iniciando com a Seção 2.1 que expõe uma noção ao leitor a respeito do Balanço Hídrico, seguindo com a apresentação do capim sudão, na Seção 2.2.

A Seção 2.3 versa sobre os Sistemas de Informações Geográficas juntamente com quais métodos serão necessários para este estudo e, por último, na Seção 2.4 são descritos os trabalhos correlatos oriundos de uma revisão sistemática.

2.1 BALANÇO HÍDRICO

A grande e crescente demanda por alimentos e a busca por maior rentabilidade na agricultura dependem, de forma fundamental, das condições climáticas, desde o plantio de uma cultura até a sua colheita. Para o adequado crescimento radicular de uma determinada planta, é necessário a gerência de agentes que afetam a qualidade do solo, como a sua porosidade e a sua capacidade de infiltração e disponibilidade hídrica (WUTKE *et al.*, 2000).

De acordo com Pereira, Sentelhas e Angelocci (2007), a quantificação da disponibilidade hídrica presente no solo pode ser analisada pelo balanço hídrico climatológico (BHC), permitindo a aquisição de dados temporais de períodos com excedente e com deficiência hídrica, capacitando o planejamento das diversas atividades agrícolas. Os pioneiros no estudo do BHC foram Charles Warren Thornthwaite (1948) e JR Thornthwaite CW e Mather (1955). A representação do balanço entre o que entrou e o que saiu de água no solo é a variação de armazenamento de água no volume considerado (ΔARM) (WUTKE *et al.*, 2000) e as suas principais entradas são a precipitação (P), a irrigação (I), orvalho (O), escorramento superficial (R_i), drenagem lateral (D_{Li}) e a ascensão capilar (AC). Já as principais saídas são a evapotranspiração (ET), escorramento superficial (R_o), drenagem lateral (D_{lo}) e drenagem profunda (DP). De acordo com Amorim Neto (1989), a aquisição do BH deve seguir as seguintes etapas:

1. Aquisição dos dados da precipitação total mensal (P);
2. Aquisição dos dados da evapotranspiração potencial mensal, obtida através de evapotranspirômetros ou calculada por fórmulas empíricas;
3. Diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (P-ETP);

4. Aquisição da negativa acumulada que corresponde ao somatório dos valores de P-ETP < 0.
5. Cálculo do Armazenamento (ARM) que representa a quantidade de água que o solo comporta.

O BH pode ser expresso na Equação 2.1.

$$\pm \Delta ARM = P + I - ET + AC - DP \quad (2.1)$$

O conceito de Evapotranspiração foi introduzido por Thornthwaite em 1944 (THORNTHWAITE; MATHER, 1955) e passou a ser considerada, como a chuva, um elemento meteorológico padrão, representando a quantidade necessária de precipitação pluviométrica para atender as demandas de água para uma determinada vegetação (CAMARGO; CAMARGO, 2000). Para Ojo (1969), a ET é a combinação da evaporação da superfície do solo com a transpiração das plantas quando o suprimento de água é ilimitado, sendo altamente importante para pesquisas hidrológicas e agrícolas. Em outras palavras, Wutke *et al.* (2000) definem ET como o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas.

2.2 CAPIM-SUDÃO BRS ESTRIBO

O Capim Sudão BRS Estribo é uma espécie de planta de cobertura de solo anual de verão, sendo uma variedade do sorgo gramínea. Possui um porte alto e hábito ereto não apresentando toxicidade alimentar nos animais, em comparação com as forrageiras que com ela concorrem (especialmente, o sorgo, o milheto e o capim-sudão tradicional). Esta forrageira adapta-se a vários tipos de solos, apresenta boa tolerância à deficiência hídrica e boa ambientação aos Estados da região Sul do Brasil, sendo utilizada como pastagem para gado de corte e de leite, produção de feno e silagem. Esta forrageira, que foi desenvolvida com base no processo de seleção no material genético do capim-sudão comum (*Sorghum sudanense*), é consequência de um trabalho de parceria entre a EMBRAPA e a Associação Sulbrasileira para o Fomento de Pesquisa em Forrageiras (Sulpasto), sendo lançada em março de 2013 (EMBRAPA, 2014), com o objetivo de ofertar ao mercado uma planta com sementes certificadas e importantes vantagens em comparação a espécie comum de sorgo, ampliando as possibilidades de uso desta forrageira anual dentro do planejamento de pastagens das propriedades (SILVEIRA; SANT'ANNA *et al.*, 2015).

Uma das contribuições vantajosas desta espécie é a alta produtividade, com plantas mais robustas e alto perfilhamento. Possui também maior resistência ao pisoteio e pastejo em comparação ao sudão comum. Outra característica importante é sua

precocidade ao plantio, resultando um ciclo produtivo mais longo. A época de plantio, nos Estados da Região Sul do Brasil, vai de setembro até fevereiro, entretanto, no Rio Grande do Sul, o período começa em outubro e encerra-se em fevereiro (SILVEIRA; SANT'ANNA *et al.*, 2015). Santos, Silva e Tonini (2019) em seu relatório do impacto desta nova cultivar, concluem que esta nova tecnologia ainda não atingiu todo o seu potencial de geração de impactos, existindo uma forte tendência no aumento de estudos inerentes a esta forrageira. Ainda afirmam que o uso desta cultivar indicam potencial de aumento nos indicadores relacionados a novas práticas metodológicas.

2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Najar e Marques (1998) afirmam que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas baseados em computador, usados para armazenar e manipular informações geográficas, sendo composto essencialmente por um sistema gerenciador e um banco de dados georreferenciados permitindo a rápida análise dos complexos dados espaciais, propiciando adequado planejamento e administração do espaço geográfico.

2.3.1 Métodos de Análise de Dados Geográficos

A Geoestatística é uma subárea da Estatística que estuda variáveis regionalizadas, fornecendo um conjunto de técnicas capaz de decifrar a aleatoriedade aparente dos dados, estabelecendo uma função de correlação espacial (YAMAMOTO JORGE KAZUO E LANDIM, 2015). Esta subárea apresenta técnicas de estimativa de dados, como o Inverso do Quadrado da Distância, análise do vizinho mais próximo e krigagem linear e não-linear (JAKOB, 2016). Para Stein (2012), a krigagem, originalmente proposto por Matheron e Huijbregts (1971), é o método mais popular para interpolar dados espaciais, sendo um caso especial de previsão linear ideal para a aplicação de processos aleatórios no espaço ou em campos aleatórios. Por esse motivo, será visto os conhecimentos da krigagem neste Capítulo.

Outro fator que reforça a aplicação do método de krigagem é devido a variabilidade espacial das estações usadas nesse estudo. WREGE *et al.* (2012) informam que os dados de chuva dos três Estados da Região Sul do Brasil foram interpolados em conjunto com dados da divisa entre os Estados de São Paulo e Paraná, em toda a Região Sul do Brasil, com estações do Uruguai, por causa da dependência dos dados de cada estação com estações circunvizinhas. Os autores deste Atlas, no qual foi extraído as médias pluviométricas para este estudo, também sugerem o emprego de equacionamento por técnicas de geoestatística (krigagem), em SIG, por meio de modelos denominados semivariogramas (WREGE *et al.*, 2012).

Yamamoto Jorge Kazuo e Landim (2015) definem krigagem como um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise variográfica. Stein, Van der Meer e Gorte (2006) afirmam que este método é aplicado para questionamentos do tipo "onde e quando?" e exemplificam o uso da krigagem através de um especialista em sensoriamento remoto, quando este profissional precisa predizer que tipo de uso da terra é provável para um pedaço do solo que foi obscurecido por nuvens quando a radiação refletida do solo foi registrada por algum sensor aéreo.

Hengl (2009) afirma que, uma regressão polinomial nas coordenadas das estações é realizada para modelar a tendência dos dados para os métodos de krigagem ordinária e co-krigagem. A krigagem ordinária é definida na equação 2.2, onde $s = (x, y)$ é um local no espaço geográfico e o $Z(s)$ é algum valor observado definido para esta localização, por exemplo, a leitura da precipitação ou temperatura em uma determinada região. O modelo é baseado em uma média constante μ para os dados (sem tendência) e erros aleatórios $\varepsilon(s)$ com dependência espacial (JOHNSTON *et al.*, 2001).

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s) \quad (2.2)$$

Suponha que o processo aleatório $\varepsilon(s)$ seja intrinsecamente estacionário. O preditor é formado como uma soma ponderada dos dados (equação 2.3), onde $Z(s_i)$ é o valor medido no i-ésimo local, λ_i é um peso desconhecido para o valor medido no i-ésimo local, s_0 é a localidade da previsão e N é o número dos valores medidos (JOHNSTON *et al.*, 2001).

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (2.3)$$

Para garantir que o preditor seja imparcial para cada medida desconhecida, a soma do peso λ_i deve ser igual a 1. Usando essa restrição, é necessário verificar se a diferença entre o valor verdadeiro $Z(s_0)$ e o preditor, $\sum \lambda_i Z(s_i)$, é a menor possível, sendo necessário minimizar a expectativa estatística com a fórmula 2.4 a partir da qual as equações foram obtidas (JOHNSTON *et al.*, 2001).

$$\left(Z(s_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \right)^2 \quad (2.4)$$

A solução para a minimização, restringida pela imparcialidade, fornece as equações de krigagem 2.5 ou 2.6, onde a matriz Γ contém os valores do semivariograma modelado entre todos os pares de localização a amostra, em que γ_{ij} denota os valores do semivariograma modelado com base na distância entre as duas amostras identificadas como as i^{o} e j^{o} posições. Já o vetor g contém os valores do semivariograma modelado entre cada local medido e o local da previsão, onde γ_{i0} denota os valores

do semivariograma modelado com base na distância entre a i -ésima localização da amostra e a localização da previsão. O valor desconhecido m do vetor λ também é estimado e surge devido à restrição de imparcialidade. (JOHNSTON *et al.*, 2001).

$$\Gamma * \lambda = g \quad (2.5)$$

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \dots & \gamma_{1N} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{N1} & \dots & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{10} \\ \vdots \\ \gamma_{N0} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Para a aplicação da krigagem, é necessário a determinação da variação espacial que é quantificada por um semivariograma, conforme a equação 2.7, onde $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i), Z(x_i + h)$ e $\gamma^*(h)$ é o semivariograma estimado (MATHERON; HUIJBREGTS, 1971).

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) + h]^2 \quad (2.7)$$

2.3.1.1 Dependência Espacial dos Dados

Além de uma observação prévia dos dados observados da natureza, é necessário realizar alguma análise, com a finalidade de verificar se os dados, que estão espacialmente arranjados, possuem correlação espacial. Esta noção parte da primeira lei da Geografia, elaborado por Waldo Tobler (1970), afirmando que as coisas mais próximas são mais similares que as coisas mais afastadas, entretanto, todas as coisas são parecidas (MONTEIRO *et al.*, 2004). Oyana (2020) informam que as Estatísticas de autocorrelação espacial podem realizar essa medição do nível de interdependência entre as variáveis. A autocorrelação espacial pode ser classificada como positiva ou negativa. Quando o valor é igual a zero, não apresenta padrão espacial.

Os testes estatísticos mais comumente aplicadas para autocorrelação espacial em estudos ambientais e geológicos são a Estatística I de Moran e a Estatística C de Geary (KALKHAN, 2011). O que foi aplicado nesse estudo é o teste de Moran I, no qual comporta-se como um coeficiente de correlação de Pearson, permanecendo entre -1 e 1. Valores positivos indicam autocorrelação positiva e vice versa. Conforme Kalkhan (2011), o teste de Moran é calculado conforme a equação 2.8, onde $I(d)$ é o coeficiente de Moran para a classe de distância d , z_i são os valores da variável i e j , quando variam de 1 a n . W_{ij} é igual a 1 quando a localização (i, j) está na classe de distância d e, caso contrário, será igual a 0. W é a soma dos valores de W_{ij} .

$$I(d) = \frac{\frac{1}{W} \sum_i \sum_{i \neq j} w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\frac{1}{n} \sum_i (z_i - \bar{z})^2} \quad (2.8)$$

2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Nesta Seção segue a descrição de alguns estudos realizados que fornecem um referencial teórico, bem como conhecimentos inerentes para o desenvolvimento de todas as etapas deste estudo. A pesquisa foi realizada por meio de uma revisão sistemática que é uma forma de pesquisa sobre um determinado tema em base de dados, disponibilizando como resultado um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca (LINDE; WILLICH, 2003).

Como estratégica de busca, realizou-se a identificação das bases de dados on-line a serem consultadas. Os principais repositórios utilizados foram: *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) que é uma biblioteca eletrônica que abrange uma coleção selecionada de periódicos científicos brasileiros, sendo desde 2002 apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Outra base de dados de pesquisa é o Repositório de Informação Tecnológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Infoteca-e).

O terceiro repositório empregado neste estudo é o Acesso Livre à Informação Científica da EMBRAPA (ALICE), que é composto por informações científicas produzidas por pesquisadores da EMBRAPA que contribui para o aumento do impacto dos resultados de pesquisa, dando maior visibilidade aos trabalhos realizados pela EMBRAPA.

Foram utilizados as seguintes palavras-chave para busca: "balanço hídrico", "capim sudão", "evapotranspiração", "SIG"e suas versões na língua inglesa. Com a finalidade de refinamento da pesquisa, construiu-se as seguintes expressões ("strings") de busca contendo as palavras-chave:

- balanço hídrico AND capim sudão
- balanço hídrico AND SIG
- capim sudão AND evapotranspiração
- evapotranspiração AND SIG

Os critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos foram definidos e discriminados abaixo:

- Os documentos devem estar presentes na Web;
- As publicações apresentam palavras da *string* de busca no seu título ou em seu resumo;

- Publicações escritas em inglês ou em português;
- Publicações feitas nos últimos 20 anos. (2000 até 2020).

2.4.1 Detalhamento dos Trabalhos Reportados

O objetivo do trabalho de Da Silva *et al.* (2013) foi de avaliar os impactos das alterações climáticas de temperatura do ar e precipitação sobre o zoneamento agrícola de risco climático da cana-de-açúcar, baseado nos relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), combinado com técnicas de SIG. A região de estudo foi a região Nordeste do Brasil e os dados utilizados foram as séries históricas de precipitação com no mínimo 30 anos de dados diários. Neste estudo utilizou-se o modelo *Système d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques* (SARRA) com o objetivo de avaliação dos riscos de seca e seus impactos na agricultura. SARRA contém um módulo que executa o balanço hídrico no solo, usado para obtenção das necessidades hídricas e o Índice de Satisfação da Necessidade de Água para a Cultura (ISNA), uma relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima. Neste estudo também foram utilizados mais dois softwares, o Estima-T, responsável por estimar a temperatura do ar e o Sevap, responsável por estimar a evapotranspiração potencial. Da Silva *et al.* (2013) concluem que as alterações climáticas provocam reduções significativas nas áreas agrícolas para a cultura de cana-de-açúcar e que a redução de chuvas sem aumento na temperatura produzem um aumento significativo nas áreas com baixo e médio risco climatológico em comparação com aquelas com acréscimo de temperatura. Ainda concluem que o período simulado mais sensível ao cultivo da cultura compreende os meses de março a maio e os meses de julho a setembro são os meses mais apropriados para o cultivo da cultura em sistema de sequeiro na Região Nordeste do Brasil.

Faria *et al.* (2000) espacializaram, para o Estado de Minas Gerais, a demanda máxima diária de irrigação suplementar real necessária à cultura do milho com o objetivo de identificar a melhor época de plantio para esta cultura. Foram usados os dados cedidos pelo INMET e pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com uma série histórica mínima de 10 anos para precipitação e cinco anos para evapotranspiração. Para a simulação do balanço de água no solo, os autores desenvolveram um software desenvolvido na linguagem Delphi, utilizando o modelo computacional aplicado ao manejo e planejamento de irrigação apresentada por Souza (1993). Os autores também estimaram a evapotranspiração por referência usando o modelo de Penman-Monteith (SMITH *et al.*, 1991) e a evapotranspiração da cultura foi calculada, em cada período, empregando-se o coeficiente da cultura proposto por Doorenbos (1975) e o coeficiente de umidade do solo proposto por Bernardo (1995). Dentre as conclusões que os autores apontam, as de maior destaque é a constatação da melhor

época de plantio do milho de sequeiro no Estado de Minas Gerais são os meses de setembro a outubro e o gerenciamento dos recursos hídricos daquele Estado deve ser regionalmente discutido, uma vez que constata-se uma homogeneidade mau distribuída espacialmente relativa à demanda de irrigação suplementar, independente do tipo de solo aplicado na simulação feita pelos autores.

Com o objetivo de determinar a aptidão agrícola para o cultivo do café arábica no Estado de Minas Gerais, os autores Sediyama *et al.* (2001) realizaram o zoneamento agroclimático do Estado, por meio de mapas temáticos. Os dados climáticos do Estado e das regiões limítrofes dos Estados circunvizinhos, foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia e o registro da precipitação diária da Agência Nacional de Energia Elétrica. Com os dados obtidos, foi elaborado o banco de dados para todas as estações do Estado de Minas Gerais e demais estações limítrofes, utilizando as normais de temperaturas médias mensais e os totais de precipitações médias mensais. Depois da elaboração do banco de dados, iniciou-se o cálculo do balanço hídrico seriado segundo Thornthwaite e Mather (1955), para todas as estações climatológicas disponíveis. Os mapas temáticos foram construídos pelo SIG "ArcView 3.2", contendo a elaboração de um banco de dados dos valores calculados do balanço hídrico, para a capacidade de água disponível de 125mm, os valores das temperatura médias anuais normais e as probabilidades de ocorrências de temperaturas inferiores ou iguais à 2°C. Sediyama *et al.* (2001) concluem que as temperaturas médias anuais entre 18 a 23,5°C são responsáveis por grande parte da área apta para o cultivo do café arábica. Outra constatação do trabalho é que, por meio do cruzamento dos mapas temáticos de deficiência hídrica anual e temperatura média anual, metade da área do Estado está apta para a produção cafeeira comercial de alta sustentabilidade.

Gondim *et al.* (2010) realizaram um estudo sobre a adequação do método para estimar a evapotranspiração de referência, que utilizam o método de FAO Perman-Monteith (ET_{OPM}) utilizando-se dados mínimos integrados a um Sistema de Informação Geográfica, na bacia do Rio Jaguaribe, CE. Embora este trabalho não aborde uma cultura específica, é notória a aquisição de conhecimento proveniente deste estudo que enriquece o presente referencial teórico, uma vez que aborda uma aplicabilidade de evapotranspiração, balanço hídrico, geoestatística, por meio de um SIG. Os autores utilizaram o sistema integrado de modelagem regional PRECIS (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*) e o conjunto de dados foi adquirido através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-CPTEC), composto de dados climatológicos de base do modelo de 1961-1990. Esses dados foram analisados quanto à sua variabilidade espacial (latitude/longitude), utilizando-se geoestatística (krigagem) associada a um SIG. Para a validação do modelo, foi aplicada a regressão linear entre ET_{OPM} estimada com dados mínimos e com dados de uma estação de referência em Limoeiro do Norte, CE. Os autores concluem que a metodologia aplicada funcionou satisfatoriamente.

mente, considerando os resultados da análise de regressão e que o balanço hídrico médio (precipitação - ET_o médias) apresenta-se negativo na maioria dos meses, quando se detecta a necessidade de irrigação da culturas.

Outra aplicabilidade em conjunto de SIG, balanço hídrico e geoestatística pode ser encontrada no trabalho de De Silva *et al.* (2007) que analisaram a variação espacial dos impactos das mudanças climáticas, considerando a necessidade hídrica da cultura do arroz durante a estação chuvosa no Sri Lanka, alimento básico daquele país, para ajudar os agricultores no planejamento de gerenciamento dos recursos hídricos. Os dados para o estudo foram obtidos através do Centro Hadley de Previsão e Pesquisa Climática do Reino Unido (HadCM3) e do Relatório Especial Intergovernamental sobre Cenário sobre Cenário de Emissões (SRES) sobre Mudança Climática (IPCC). Um modelo de balanço hídrico e um SIG foram usados para modelar e mapear os impactos esperados nos requisitos totais de irrigação para a cultura de arroz em casca na estação chuvosa. Para cada conjunto de dados, foi extraído a temperatura média mensal, radiação, velocidade do vento e umidade e estimado o ET_o médio mensal para cada pixel de 16 a 16 km. Para estimar a Evapotranspiração por referência (ET_o) foi utilizado a equação de Penman-Monteith da Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura (FAO). Os dados compreendidos entre 1961 a 1990 são a temperatura média mensal, radiação, velocidade do vento e umidade. Esses dados foram interpolados usando krigagem esférica e, em seguida, aplicadas aos dados de linha de base. Os autores concluem que os impactos das mudanças climáticas na estação chuvosa são positivos no extremo sul, no entanto, os impactos são negativos na maior parte do Sri Lanka para a produção do arroz em casca.

Ainda foram selecionados trabalhos que apresentam um enriquecimento para a compreensão das etapas do método definido em busca dos objetivos elencados nessa pesquisa, ainda que não apresentem todas as palavras-chave. Dentre eles, o trabalho de Rovani e Wollmann (2019) realizou a análise do Balanço Hídrico do cultivo da noqueira pecã, no Rio Grande do Sul, com dados coletados de precipitação pluviométrica e temperatura média do ar, de 23 estações gaúchas no período de 1998 a 2013. Os dados foram organizados em planilhas do Microsoft Office Excel, contendo médias aritméticas diárias e mensais. O Balanço Hídrico foi elaborado conforme metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955) e a capacidade de água no solo no valor de 100mm. Foram selecionadas oito estações meteorológicas para a elaboração do balanço hídrico. De acordo com os autores, existem anos com precipitações elevadas, muito provavelmente em decorrência do El Niño - Oscilação Sul. O estudo apresentou como conclusões que no ano de 2002 apresentou excesso hídrico no período de afloração dos frutos e no ano de 2004 apresentou deficiência hídrica no crescimento das nozes e na colheita, ambos períodos prejudiciais na produção da noqueira pecã.

Coutinho *et al.* (2015) apresentaram uma pesquisa analisando o Balanço Hídrico Climatológico em dois municípios da Paraíba, usando a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) com modificações de Krishnan *et al.* (1980). Os dados de precipitação analisados são oriundos da Universidade de Ciências Atmosféricas em um período de 1966 até 2003. A EMBRAPA de Recife cedeu os dados de máxima capacidade de retenção de água disponível pelo solo. O cálculo de evapotranspiração potencial foi realizado conforme método de Charles Warren Thornthwaite (1948). Os resultados mostraram que o período chuvoso concentra-se nos meses de maio a julho, nos municípios de Alhandra e Prata. O Balanço Hídrico demonstraram limitação hídrica principalmente no município de Prata.

A análise do Balanço Hídrico Climatológico do Sistema Aquífero Guarani foi realizado por Santos, Chang e Kiang (2012), no Estado de São Paulo, utilizando a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) e dados das cinco estações meteorológicas sem informar o período da coleta. O resultado da pesquisa demonstrou que as temperaturas médias nos meses quentes permaneceram acima dos 22°C e médias superiores a 30mm de chuva nos meses mais secos. As médias são da ordem de 1400 a 1600mm ao ano, apresentando um excedente hídrico médio de 604 mm ao ano.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os materiais e métodos adotados no decorrer deste trabalho. Na Seção 3.1 são abordados as etapas de todo o desenvolvimento dessa presente pesquisa, na Seção 3.2 é apresentado a fase de Concepção do Projeto. O arcabouço teórico, constituído pelo Referencial Teórico e Trabalhos Correlatos, estavam contidos no Capítulo 2.

3.1 DEFINIÇÃO DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A Figura 2 apresenta a sequência de etapas de desenvolvimento do trabalho, desde a fase de concepção do projeto até a apresentação dos resultados. Nessa sequência, caso haja algum problema em etapas anteriores, poderão ocorrer soluções para o correto desenvolvimento da metodologia. A construção do Referencial Teórico e os Trabalhos Correlatos estão no Capítulo 2.

FIGURA 2 – Etapas do desenvolvimento do trabalho



Fonte: : Próprio autor.

3.2 CONCEPÇÃO DO TRABALHO

3.2.1 Definição do tipo de pesquisa

Para desenvolvimento de uma metodologia, é necessário compreender qual a definição de pesquisa que, para Ander-Egg (1978), em linhas gerais, é a investigação de um procedimento reflexivo, sistemático e crítico dentro de um controle, permitindo o descobrimento de novos dados, fatos, relações em qualquer campo do conhecimento. Uma das consequências da pesquisa é a aquisição de conhecimento. De acordo com Ferrari (1974), existem quatro tipos de conhecimento, a saber, o conhecimento popular, conhecimento científico, conhecimento filosófico e, por fim, o conhecimento religioso. Este estudo está classificado como conhecimento científico, pois lida com ocorrências ou fatos, com toda forma de existência que se manifesta de algum modo (FERRARI, 1974).

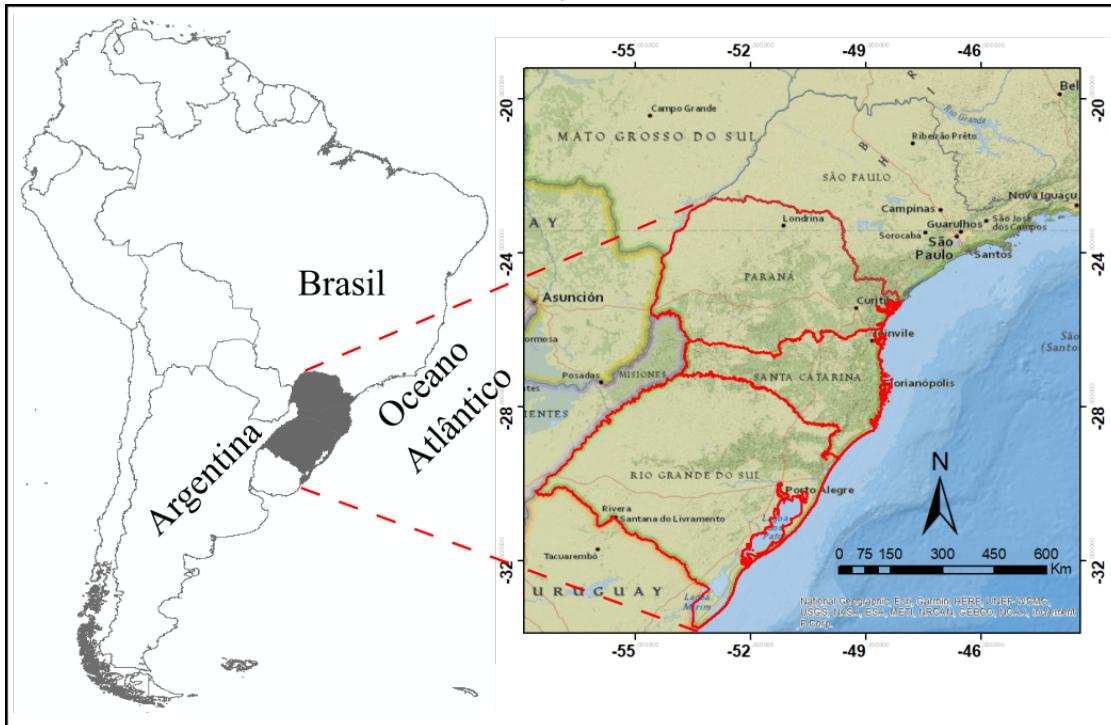
A linha de pesquisa deste trabalho está relacionada com Tecnologias para Produção Agropecuária, sendo classificada como "modelagem computacional do Sistema Solo-Planta-Animal", conforme definido no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Federal do Pampa, uma vez que esta pesquisa está interessada na interação dos processos existentes no sistema solo-planta-animal. Outra classificação é quanto à sua natureza, sendo caracterizada como pesquisa aplicada, pois está interessada em aquisição de conhecimentos para aplicação na prática, proporcionando solução de problemas específicos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

3.2.2 Delimitação da área de estudo

A área de estudo comprehende as unidades federativas do Paraná, Santa Catarina e do Rio Grande do Sul que compõe a Região Sul do Brasil com 577.700 km², sendo a menor das cinco regiões brasileiras. É limitada ao norte pelos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, ao sul pelo Uruguai, a oeste pelo Paraguai e pela Argentina e a leste pelo Oceano Atlântico (IBGE, 1977).

IBGE (1977) informa que o clima desta região caracteriza-se por ser homogêneo, no que se refere à pluviometria e ao ritmo estacional de seu regime. A Região Sul do Brasil é bem regada por chuvas, apresentando boa distribuição espacial de chuvas durante o ano. A média de precipitação anual varia de 1250 a 2000mm (IBGE, 1977). IBGE (1977) caracteriza a área de estudo, quanto a circulação atmosférica, como uma região de passagem da frente polar em frontogênese. Desta forma, a Região Sul do Brasil torna-se sujeita às sucessivas invasões de correntes perturbadoras de Sul. A área de estudo pode ser observada por meio da Figura 3.

FIGURA 3 – Localização da Área de Estudo



Fonte: : Próprio autor.

3.3 TRATAMENTO DOS DADOS

3.3.1 Aquisição dos dados

Foram adquiridos os dados do Atlas Climatológico da Região Sul do Brasil (WREGE *et al.*, 2012) que compõe as variáveis climáticas utilizadas neste estudo, provenientes das 566 estações meteorológicas do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) e do 8º Instituto Nacional de Meteorologia (DISME/INMET), das estações da EMBRAPA Clima Temperado e da EMBRAPA Trigo, da rede de estações da Agência Nacional de Águas (ANA).

As médias da precipitação pluviométrica acumulada mensal, estacional e anual na Região Sul do Brasil, estão em um período histórico de 30 anos, compreendidos entre 1976 até o ano de 2005. Devido a errônea localização geográfica de uma grande parte das estações elencadas no Atlas de WREGE *et al.* (2012), foi necessário corrigir as coordenadas geográficas das estações através do Inventário das Estações Pluviométricas fornecido pela ANA (ANA, 2009).

A representação cartográfica dos contornos dos estados da Região Sul do Brasil (*shapefiles*) foi obtido através da Divisão do Processamento de Imagens (DPI)

do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)¹. O Sistema de Coordenadas Geográficas utilizado neste *shape* é o World Geodetic System of 1984 (WGS 84). Os dados pluviométricos foram interpolados incluindo os dados da divisa entre os estados de São Paulo e Paraná, em toda a Região Sul do Brasil e com dados de estações do Uruguai, considerando sua dependência espacial e a forma como um dado influencia no seu vizinho. O *shape* do Uruguai foi obtido através do seu Instituto Nacional de Estatística², com o mesmo sistema de coordenadas WGS 84.

3.3.2 Edição dos dados

Primeiramente, os dados das médias mensais de precipitação e evapotranspiração foram organizados em formato de tabela, contendo o nome da estação, nome da localidade da estação, latitude e longitude e as resultantes das médias mensais de janeiro a dezembro. Como as coordenadas (x e y) precisam estar em graus decimais, no sistema Universal Transverse Mercator (UTM), para a criação de um shapefile de pontos, foi realizada a transformação das coordenadas para o UTM.

3.3.3 O Método do Balanço Hídrico

O Balanço Hídrico, apresentado na Seção 2.1, genericamente, pode apresentar as entradas e saídas descritas na Tabela 1 (PEREIRA; SENTELHAS; ANGELOCCI, 2007):

TABELA 1 – Entradas e Saídas do cálculo do Balanço Hídrico

Entradas	Saídas
P = Precipitação	ET = Evapotranspiração
O = Orvalho	DLo = Drenagem lateral
I = Irrigação	Ro = Escorrimento Superficial
Ro = Escorrimento Superficial	DP = Drenagem profunda
DLi = Drenagem lateral	
AC = Ascensão Capilar	

A contribuição do orvalho é considerada desprezível em termos de suprimento de água para a cultura. O escorrimento superficial e a drenagem lateral tendem a se compensar. Desta maneira, seus valores são suprimidos do cálculo. Desta forma, o balanço hídrico pode ser expresso na equação 3.1.

$$\pm \Delta ARM = P + I - ET + AC - DP \quad (3.1)$$

Os dados da precipitação (P) e de evapotranspiração (ET) foram adquiridos pelo Atlas de WREGE *et al.* (2012) e os valores de irrigação (I) não serão aplicados nesse

¹ <http://www.dpi.inpe.br/DPI/>

² <http://www.ine.gub.uy/mapas-vectoriales>

estudo, em virtude da extensa área de estudo. Os dados da ascensão capilar (AC) e a drenagem profunda (DP) podem ser determinados pela física de solos (REICHARDT, 1990). Desta forma, falta determinar a disponibilidade hídrica do solo (ARM).

Para determinar o balanço hídrico sem a presença da irrigação ($I = 0$), foi aplicado o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955). Outra simplificação, para fins práticos, é desprezar os valores de ascensão capilar ($AC = 0$) e com isso, é possível determinar a Alteração do Armazenamento (ALT), a evapotranspiração real (ETR) e a drenagem profunda, agora denominada excedente hídrico (EXC), resultando na equação 3.2. Com os valores de ETP e ETR foi possível determinar o deficit hídrico (DEF) (equação 3.3).

$$\pm ALT = P - ETP - EXC \quad (3.2)$$

$$DEF = ETP - ETR \quad (3.3)$$

Para Thornthwaite e Mather (1955), o primeiro passo do roteiro para a elaboração do balanço hídrico climatológico é a seleção do valor da Capacidade de Água Disponível (CAD), ou seja, a lâmina de água correspondente a umidade armazenada pelo solo. No presente estudo, foram adotados os valores de CAD sugeridos por Pereira, Sentelhas e Angelocci (2007) de 50, 75, 100, 125 e 150mm. Abaixo seguem a sequência de passos para o cálculo do balanço hídrico (PEREIRA; SENTELHAS; ANGELOCCI, 2007).

1. ETP: Preencher com os valores mensais da evapotranspiração;
2. P: Preencher com as médias pluviométricas mensais;
3. P - ETP: Diferença entre as colunas P e ETP ;
4. NEG.ACUM: Somatório da sequência dos valores negativos de P - ETP;
5. ARM: Armazenamento de água do solo, calculado pela equação 3.4;

$$ARM = CAD e^{[\frac{NEG.ACUM}{CAD}]} \quad (3.4)$$

6. ALT: Alteração no armazenamento que é obtida pela diferença entre o ARM do mês atual e o ARM do mês anterior.
7. ETR: Evapotranspiração real. Podem existir duas formas de cálculo, as equações 3.5 e 3.6:
 - quando $P - ETP \geq 0$:

$$ETR = ETP \quad (3.5)$$

- quando $ALT \leq 0$:

$$ETR = P + |ALT| \quad (3.6)$$

8. DEF: Deficiência hídrica, obtida pela equação 3.7:

$$DEF = ETP - ETR \quad (3.7)$$

9. EXC: Excedente hídrico, podendo ser obtido por duas situações, equações 3.8 e 3.9:

- quando $ARM < CAD$:

$$EXC = 0 \quad (3.8)$$

- quando $ARM = CAD$:

$$EXC = (P - ETP) - ALT \quad (3.9)$$

3.3.4 Evapotranspiração de Cultura (ETc)

Para a determinação das áreas com excedente hídrico e deficiência hídrica para a produção da cultura do capim sudão, é necessária a determinação da Evapotranspiração de Cultura (ETc). A ETc foi definida, conforme Pereira, Sentelhas e Angelocci (2007) como a quantidade de água necessária para o desenvolvimento de uma cultura, em qualquer fase de seu crescimento, sendo obtida através da ETP pela relação da equação 3.10, substituindo, no cálculo do BHC, a Evapotranspiração Real (ETR) pela ETc, em que Kc é o Coeficiente de Cultura.

$$ETc = Kc \cdot ETP \quad (3.10)$$

O Valor de Kc varia com os subperíodos de desenvolvimento e entre as espécies e variedades (cultivares) (PEREIRA; SENTELHAS; ANGELOCCI, 2007). De acordo com Camargo e Pereira (1990), o valor de Kc varia de 0 a 1,2 e pode ser estimado pela relação expressa na equação 3.11, onde CT é a cobertura do terreno.

$$Kc = 1,2 \left(\frac{\%CT}{100} \right) \quad (3.11)$$

3.4 ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS

O Sistema de Informação Geográfica (GIS), utilizado para a espacialização dos dados vetoriais, foi o *ArcMap®* (licença da UNIPAMPA Laboratório de Modelagem e Simulação Computacional) que é o principal componente do conjunto de programas de processamento geoespacial do *ArcGIS®*, software para criação e edição de dados

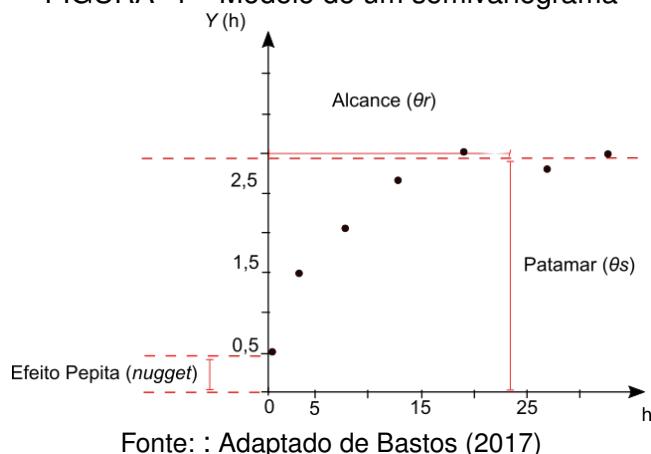
geográficos aplicado nesse estudo (SHANER JEFF E WRIGHTSELL, 2000). O *ArcMap®* possui um conjunto de ferramentas de análise exploratória de dados espaciais denominado de Analista Geoestatístico. Dentre as ferramentas, o analista possui o interpolador aplicado nesse estudo, a Krigagem linear, que é abordado na subseção 2.3.1 do presente documento.

Dentre os modelos semivariogramas ajustados apresentados por Johnston *et al.* (2001), os indicados para os mais variados tipos de situações são o esférico, o exponencial e o gaussiano, conforme McBratney e Webster (1986). O modelo de semivariograma aplicado neste estudo foi o esférico uma vez que, conforme Grego, Oliveira e Vieira (2014) engloba 95% dos casos ambientais. O semivariograma esférico é definido conforme a equação 3.12 (JOHNSTON *et al.*, 2001).

$$\gamma(h) = \begin{cases} \theta_s \left[\frac{3}{2} \frac{h}{\theta_r} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{\theta_r} \right)^3 \right] & \text{se } 0 \leq h \leq \theta_r \\ \theta_s & \text{se } \theta_r < h \end{cases} \quad (3.12)$$

A figura 4 apresenta um exemplo de um semivariograma, onde o efeito de pepita (*nugget*) é o ponto inicial da curva, onde a curva intercepta o eixo γ , quando $h=0$. θ_s é o valor de patamar (*sill*). θ_r é o alcance, sendo a distância h até a semivariância γh atingir um valor aproximadamente constante. No intervalo $[0, h]$ demonstram as amostras com dependência espacial (BASTOS, 2017).

FIGURA 4 – Modelo de um semivariograma



Fonte: : Adaptado de Bastos (2017)

Para a realização do teste estatístico I de Moran, uma observação prévia para analisar se, de fato, os dados apresentam correlação espacial, foi usado o software R, um ambiente de programação para computação estatística e gráficos³, que possui uma gama de funções matemáticas. A aplicada nesse estudo, é o pacote *spdep*, que contém diversas funções para aplicações espaciais, contendo diversas formas de se calcular os valores dos coeficientes de autocorrelação. Como já mencionado, foi aplicado o teste de Índice Global de Moran (*I*), que está contido no pacote *spdep*⁴.

³ <https://www.r-project.org/>

⁴ <https://www.rdocumentation.org/packages/spdep/versions/1.1-5/topics/moran.test>

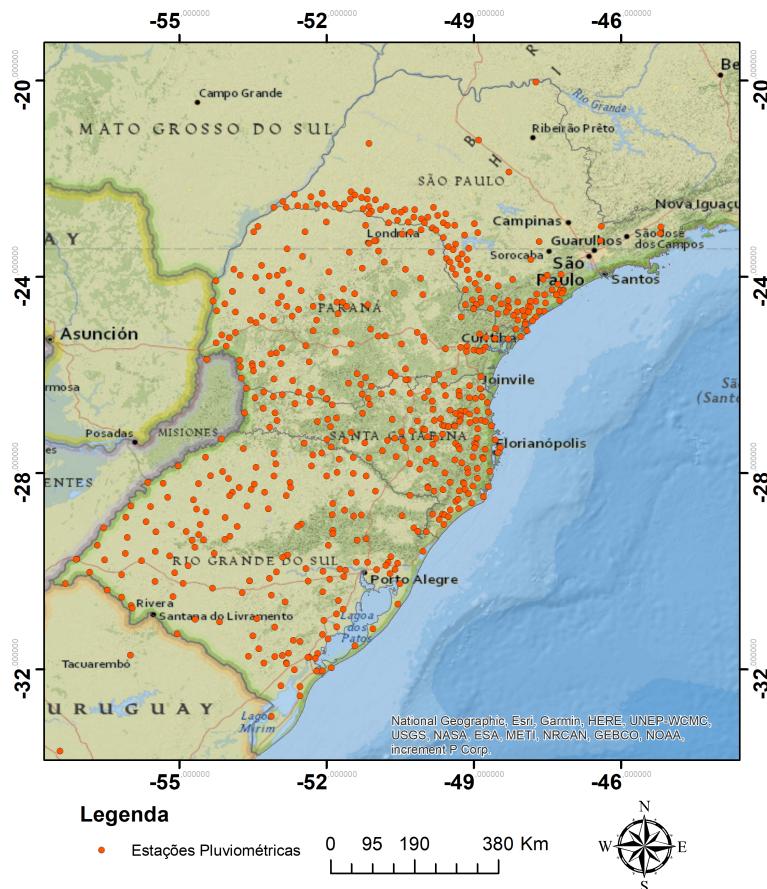
4 RESULTADOS

Nesse Capítulo são abordados os resultados alcançados. Inicialmente, apresenta-se a análise dos dados de precipitação, evapotranspiração, deficiência e excesso hídrico. Após é apresentado a espacialização da precipitação e evapotranspiração das médias mensais de precipitação e evapotranspiração para a Região Sul do Brasil. Em seguida, apresenta-se a espacialização do Balanço Hídrico Climatológico com os mapas resultantes do excedente hídrico e estresse hídrico. Por fim, consta a espacialização das resultantes da aplicação do coeficiente de cultura no cálculo do balanço hídrico climatológico, demonstrando os excedentes hídricos e deficiências hídricas na produção do capim sudão, em toda a Região Sul do Brasil.

4.1 ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

As estações usadas para a espacialização dos dados foram representadas no mapa na Figura 5, demonstrando a localização corrigida das estações.

FIGURA 5 – Estações pluviométricas espacializadas na Região Sul do Brasil



Fonte: : Próprio autor.

A estatística descritiva dos dados pluviométricos mensais pode ser observados na Tabela 2, contendo os valores das precipitações mínimas e máximas, a mediana, a média de chuvas e o desvio padrão dos 12 meses nos Estados da Região Sul do Brasil. O desvio padrão demonstra o tamanho da dispersão das médias de precipitação anual,

TABELA 2 – Estatística descritiva dados pluviométricos na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005 (mm)

Mês	Mínima	Máxima	Mediana	Média	Desvio Padrão
Janeiro	79,3	478,1	178,6	183,9	53,4
Fevereiro	63,9	385,2	166,2	173,1	46,2
Março	76,5	437,3	135,7	145,4	47,5
Abril	31,5	305,5	113,8	122,3	38,4
Maio	48,7	235,1	121,9	128,9	33,2
Junho	53,3	205,0	115,5	115,8	30,7
Julho	33,8	194,7	118,4	113,9	39,1
Agosto	31,8	197,3	101,2	97,3	32,6
Setembro	67,0	303,8	135,7	136,7	29,7
Outubro	71,6	375,2	150,7	157,0	36,4
Novembro	47,4	312,9	136,8	138,3	28,8
Dezembro	50,2	374,5	159,7	159,5	40,5

gerando uma maior amplitude de 398 mm em Janeiro e uma menor amplitude de 265 mm em Novembro, informando o quanto as médias das chuvas podem variar.

A Tabela 3 contém os valores de Evapotranspiração usadas no cálculo do Balanço Hídrico. De acordo com Pereira, Sentelhas e Angelocci (2007), a Evapotranspiração (ET) é a soma do processo de transferência de água para a atmosfera através da evaporação, onde o líquido passa para o estado físico gasoso e da perda de água na forma de vapor pelas plantas, denominado de transpiração.

Os valores da Tabela 3 foram estimados por fórmulas teóricos-empíricas testadas para várias condições climáticas, retiradas do WREGE *et al.* (2012). Esses dados são conceitualmente denominados por Evapotranspiração Potencial (ETP), que é a quantidade de água necessária para atender uma superfície vegetada por alguma cultura de baixa estatura, com altura entre 8 e 15cm. A ETP é o valor de referência quando o objetivo é conhecer a evapotranspiração de uma determinada cultura (PEREIRA; SENTELHAS; ANGELOCCI, 2007).

Observando os dados das estações, é possível notar que a médias mensais de precipitação pluviométrica é bastante variável, alcançando valores de 1055 até 3502mm, o menor acúmulo de chuva anual ocorreu na localidade gaúcha de Barra do Quaraí e o maior acúmulo na localidade de Morretes, no Estado do Paraná. As maiores médias concentram-se no litoral e oeste do Paraná e no oeste do estado de Santa Catarina. Já as médias mais baixas estão localizadas nas regiões Norte e Noroeste

TABELA 3 – Estatística descritiva dados de evapotranspiração na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005 (mm)

Mês	Mínima	Máxima	Mediana	Média	Desvio Padrão
Janeiro	89	158	124	122	16
Fevereiro	77	128	105	103	12
Março	73	127	98	98	12
Abril	52	102	68	69	10
Maio	34	63	45	46	6
Junho	24	48	34	34	5
Julho	24	51	35	36	5
Agosto	31	67	44	45	7
Setembro	41	105	51	55	11
Outubro	49	92	63	64	9
Novembro	68	117	90	91	11
Dezembro	77	205	116	126	17

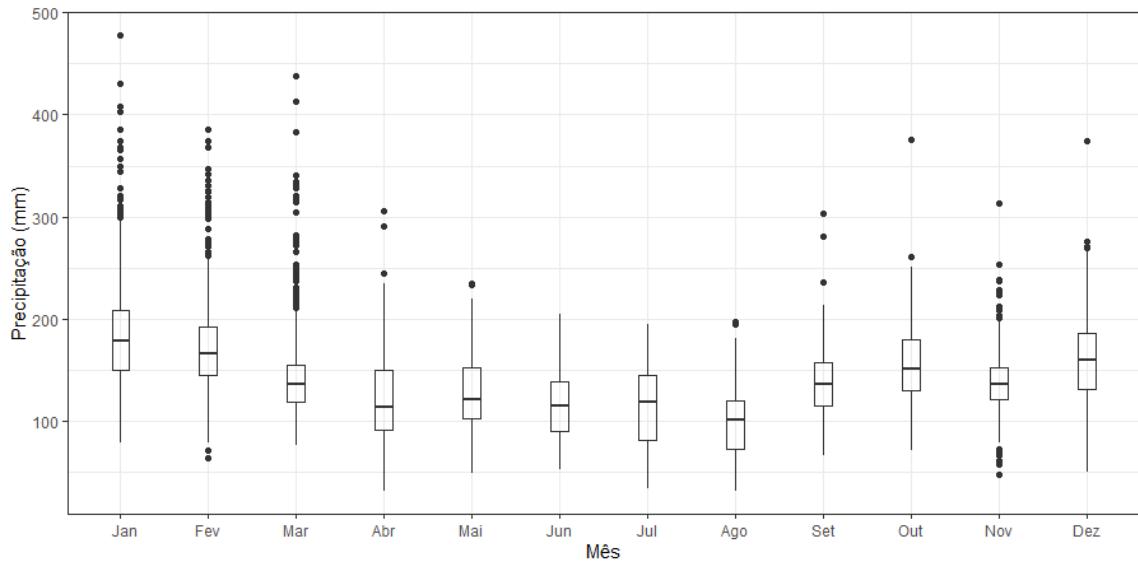
do Paraná, na região Sul do Rio Grande do Sul e no extremo oeste da Região da Campanha gaúcha.

A Figura 6 apresenta um diagrama de caixa, *boxplot*, usado para sumarizar e analisar dados quantitativos e que apresentam, de maneira geral, a distribuição dos dados mensais de precipitação. Entre os meses de janeiro e março percebe-se muitos valores atípicos (*outliers*) fora da simetria da amostra, demonstrando que as chuvas concentram-se de maneira diferente nos meses do ano. Entre os meses de abril a agosto as médias pluviométricas comportam-se de maneira similar, voltando a apresentar alguma disparidade no mês de novembro, apresentando fases com pouca chuva e épocas com médias maiores com relação a própria média histórica do mês de novembro.

A discrepância entre as médias é fruto dos anos em que a região sofre interferências de eventos climáticos como El Niño e La Niña. Nessas condições, no período sazonal da primavera, com a influência do El Niño, percebe-se um período com volumes maiores de chuva, ao contrário em períodos de La Niña, onde chove menos, principalmente na primavera (MATZENAUER; RADIN; MALUF, 2018).

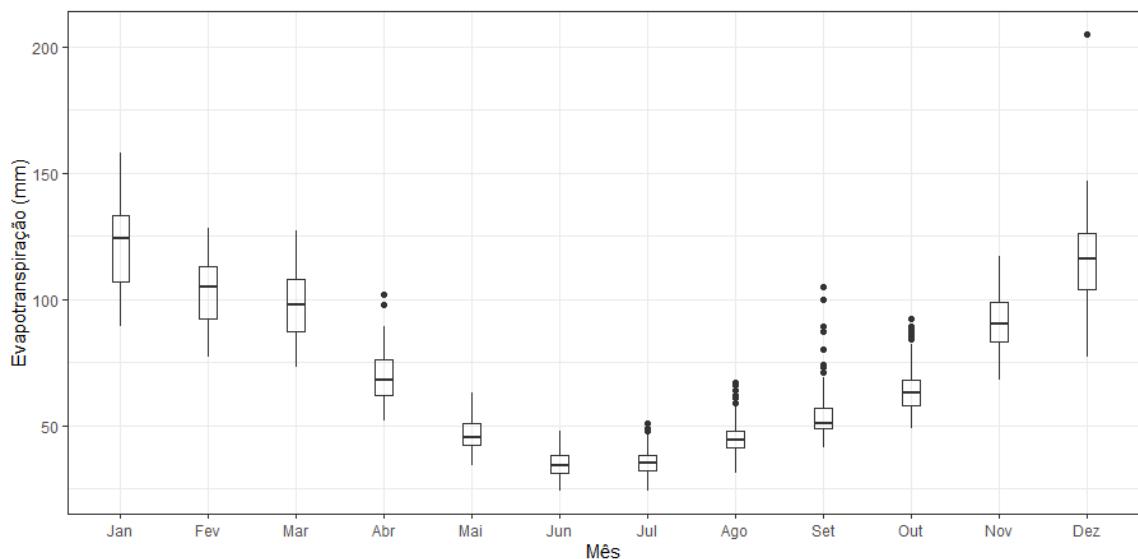
O extrato dos dados da evapotranspiração potencial (ETP) podem ser observados na Figura 7. A ETP representa a quantidade de perda hídrica do solo. Os meses que apresentam as menores médias de ETP estão contidos entre Maio e Agosto, períodos onde a Região Sul apresenta a maior demanda hídrica durante os 12 meses do ano. Nota-se que no período de sazonal de verão, entre dezembro a janeiro, as médias de perda hídrica são as maiores registradas durante o ano. Diferentemente da precipitação, os dados da evapotranspiração não apresentam um volume considerável de valores atípicos, caracterizando uma perda hídrica homogênea durante os 12 meses.

FIGURA 6 – Médias mensais de precipitação na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

FIGURA 7 – Médias mensais de evapotranspiração na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

Os resultados para o teste I de Moran estão agrupados na Tabela 4. A primeira coluna contém o valor observado de I e a segunda coluna é o desvio padrão σ . Para os dados de evapotranspiração, o valor da expectativa, que é $-1/(n - 1)$ para os casos centrados na média, os doze meses apresentaram o valor muito próximos de $-8,0 \times 10^{-3}$ e a variância, valores próximos a $1,0 \times 10^{-4}$. Para os dados de precipitação, o valor da expectativa, para os doze meses, permaneceram em $-1,77 \times 10^{-3}$ e a variância, próximos a $5,86 \times 10^{-5}$. Em todas as análises, o p-valor permaneceu em $2,2 \times 10^{-16}$,

valor abaixo de 0,05, caracterizando-se como valor significativo.

TABELA 4 – Estatística Moran I para os valores de precipitação e evapotranspiração da Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005

Mês	ETP		Precipitação	
	I	σ	I	σ
Janeiro	0,17	15,21	0,59	77,55
Fevereiro	0,11	10,23	0,47	62,19
Março	0,10	9,170	0,53	70,89
Abril	0,15	13,91	0,51	66,84
Maio	0,29	11,54	0,55	72,36
Junho	0,28	24,73	0,62	81,73
Julho	0,30	26,14	0,68	89,45
Agosto	0,29	25,49	0,65	85,76
Setembro	0,28	24,79	0,41	54,54
Outubro	0,25	22,31	0,58	66,67
Novembro	0,16	14,33	0,33	43,91
Dezembro	0,12	11,43	0,54	71,36

Tanto para os valores de precipitação quanto para os de evapotranspiração, o índice I é positivo, caracterizando-se como autocorrelação positiva e, conforme Moran (1950), significa que os dados são similares em localização e também são similares em atributos.

4.2 APLICAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

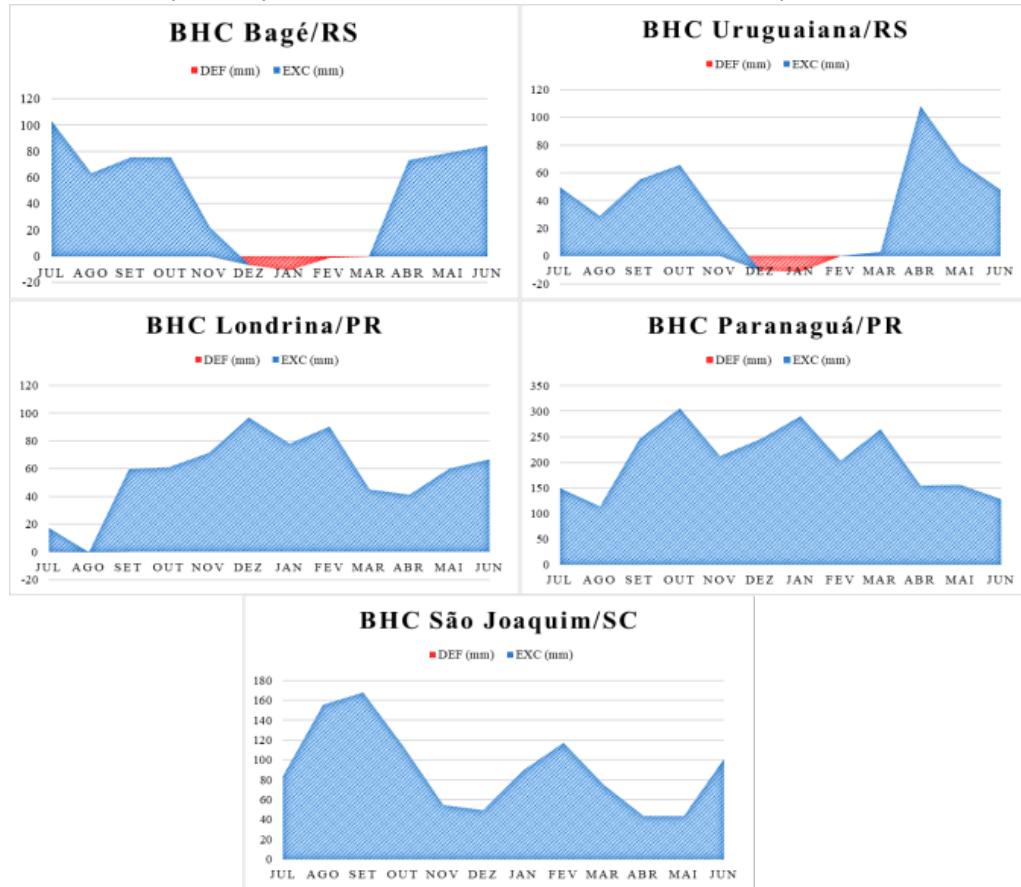
Os cálculos do BHC de alguns municípios selecionadas, cujas resultantes estão expressas nas Tabelas de 7 até 11 contidas no Apêndice A, foram realizados, neste primeiro momento, com uma CAD de 50mm e, posteriormente, serão analisados nas CAD subsequentes.

Com a finalidade de demonstrar os resultados da aplicação do BHC, foram selecionados as estações dos municípios de Paranaguá/PR, estação que apresenta o maior excedente hídrico e que não apresenta deficiência hídrica, as estações dos municípios de Londrina/PR e São Joaquim/SC, municípios que não apresentam deficiência hídrica e os municípios gaúchos de Bagé e Uruguaiana que apresentam deficiência e excesso hídrico, podendo ser observadas na Figura 8. Pereira, Sentelhas e Angelocci (2007) sugerem o uso de números inteiros fazendo aproximações nos cálculos e, por este motivo, os valores resultantes serão expressos desta maneira. Para a aquisição do BHC, foi utilizado o *script* contido no Apêndice C, com a finalidade de cálculo de todas as estações mencionadas nesse estudo.

A estimativa do BHC teve início no período sazonal de inverno, uma vez que a capacidade hídrica em regiões do Rio Grande do Sul apresenta-se de maneira negativa

no período sazonal de verão (DJF).

FIGURA 8 – Extrato do balanço hídrico climatológico em alguns municípios da Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005. Valores expressos em mm



Fonte: : Próprio autor.

As estações localizadas no Leste do Estado do Paraná, na região litorânea do município de Paranaguá, apresentaram as maiores médias de excedente hídrico, chegando perto de 3000 mm de acúmulo hídrico durante o ano, sendo o mês de outubro com a maior média e o mês de junho a menor.

O Estado do Paraná praticamente não apresenta deficiência hídrica, exceto em localidades da região Norte do Estado, a exemplo do município de Londrina, apresentando uma pequena janela de tempo onde o acúmulo hídrico é negativo, no mês de agosto.

O Estado de Santa Catarina aparenta ser uma região de transição de maior para a menor localidade com excedente hídrico, a exemplo do município de São Joaquim, com um acúmulo de 1097 mm de EXC durante o ano e apresentando médias mensais em torno de 100 mm e ultrapassando os 160 mm, podendo ser observado na Figura 8.

Já o Estado do Rio Grande do Sul apresenta as regiões onde encontram-se as menores capacidades de armazenamento de água no solo, a exemplo de Bagé e

Uruguaiana, médias expostas na Figura 8. Entretanto, o município que apresentou a maior deficiência hídrica, na resultante do BHC, foi o município de Cachoeirinha, com um déficit hídrico anual de 95mm.

4.3 ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

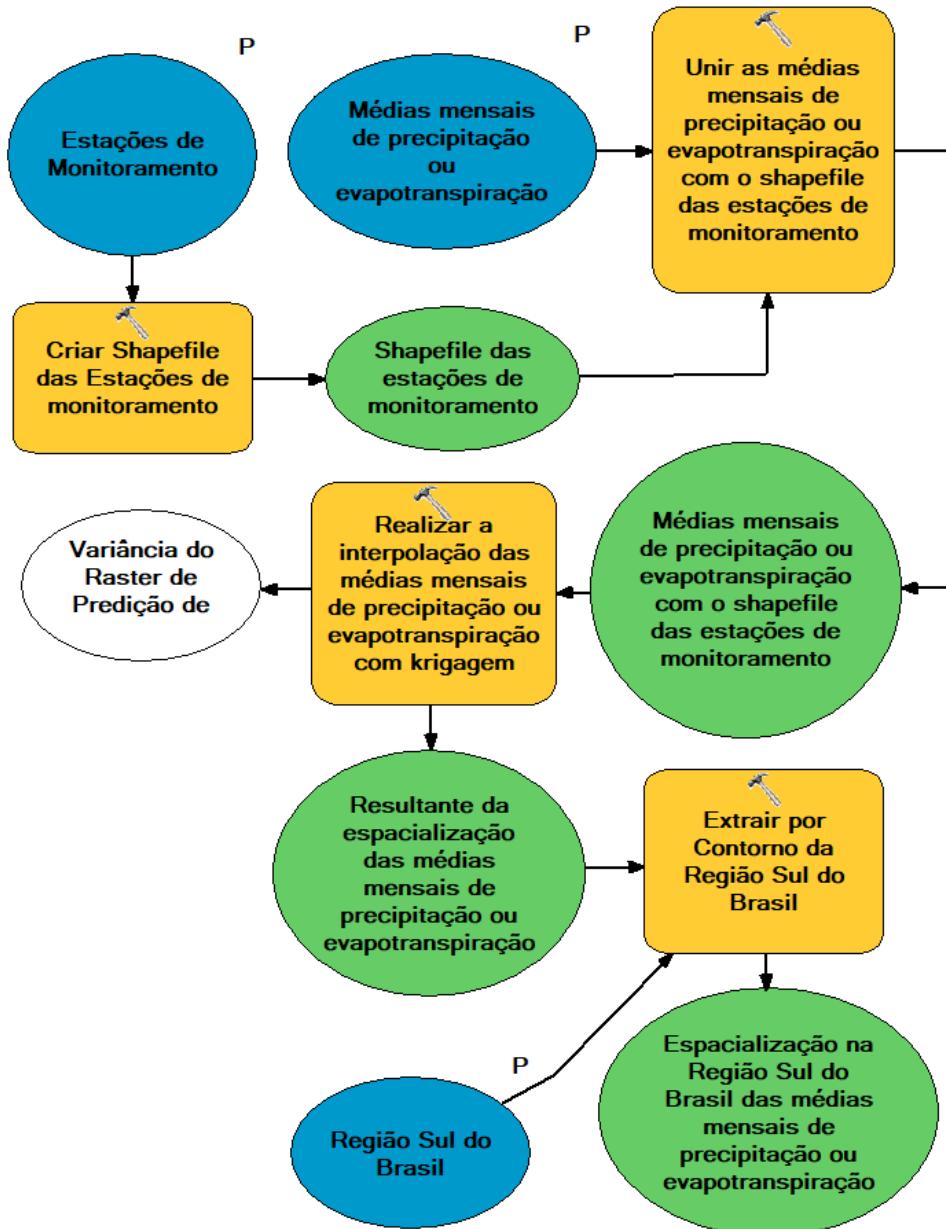
A Figura 9, corresponde ao fluxograma onde é demonstrado cada fase de processamento das etapas das imagens espacializadas, através do software *ArcMap* (SHANER JEFF E WRIGHTSELL, 2000). Inserido no *ArcMap*, existe a ferramenta *ModelBuilder*, um ambiente de programação visual usado para análise de modelagem e criação de modelos, que podem ser utilizadas repetidamente, permitindo a exportação de scripts em linguagem *Python*, possibilitando a criação de algoritmos e a inserção na modelagem em estudo (TOMS, 2015).

O *ModelBuilder* configura seus fluxogramas com diferenciação de cores, caracterizando as entradas de dados, as ferramentas aplicadas no modelo e as resultantes. A cor azul, significa os parâmetros de entrada do modelo, a cor amarela corresponde as ferramentas aplicadas, que podem ser nativas do software ou inseridas através de um script em *Python* e, a cor verde, são as resultantes da aplicação das ferramentas ou de todo o modelo (TOMS, 2015).

O modelo da Figura 9 inicia-se com a inserção dos parâmetros de entrada Estações de monitoramento e das Médias Mensais calculadas pelos registros de dados das Estações de Monitoramento na Região Sul do Brasil. As Estações de Monitoramento são inseridas em uma ferramenta nativa do *ModelBuilder* para a criação de um *shapefile* contendo os pontos com suas respectivas coordenadas geográficas (x e y). Em seguida, é realizada a união dos pontos referentes as estações de monitoramento. A resultante será um *shapefile* contendo, como atributos, o nome da estação, a localização geográfica de cada estação e as médias mensais de evapotranspiração ou precipitação em cada mês do ano.

As fases anteriores possibilitam a interpolação das médias mensais de precipitação ou evapotranspiração com krigagem, através de outra ferramenta nativa do software, resultando a espacialização das médias mensais. O último arquivo de entrada, é um *shapefile* que delimita a área de estudo, usado na ferramenta de extração por contorno. Desta forma, será gerada a espacialização das médias mensais de precipitação ou evapotranspiração com os contornos da Região Sul do Brasil. Para cada análise, é necessário a inserção das médias mensais de precipitação ou evapotranspiração, em cada mês de estudo, e repetir o processo do fluxograma. O Apêndice B contém o *scripty* em *Python* resultante do fluxograma da Figura 9.

FIGURA 9 – Fluxograma para a produção das imagens espacializadas

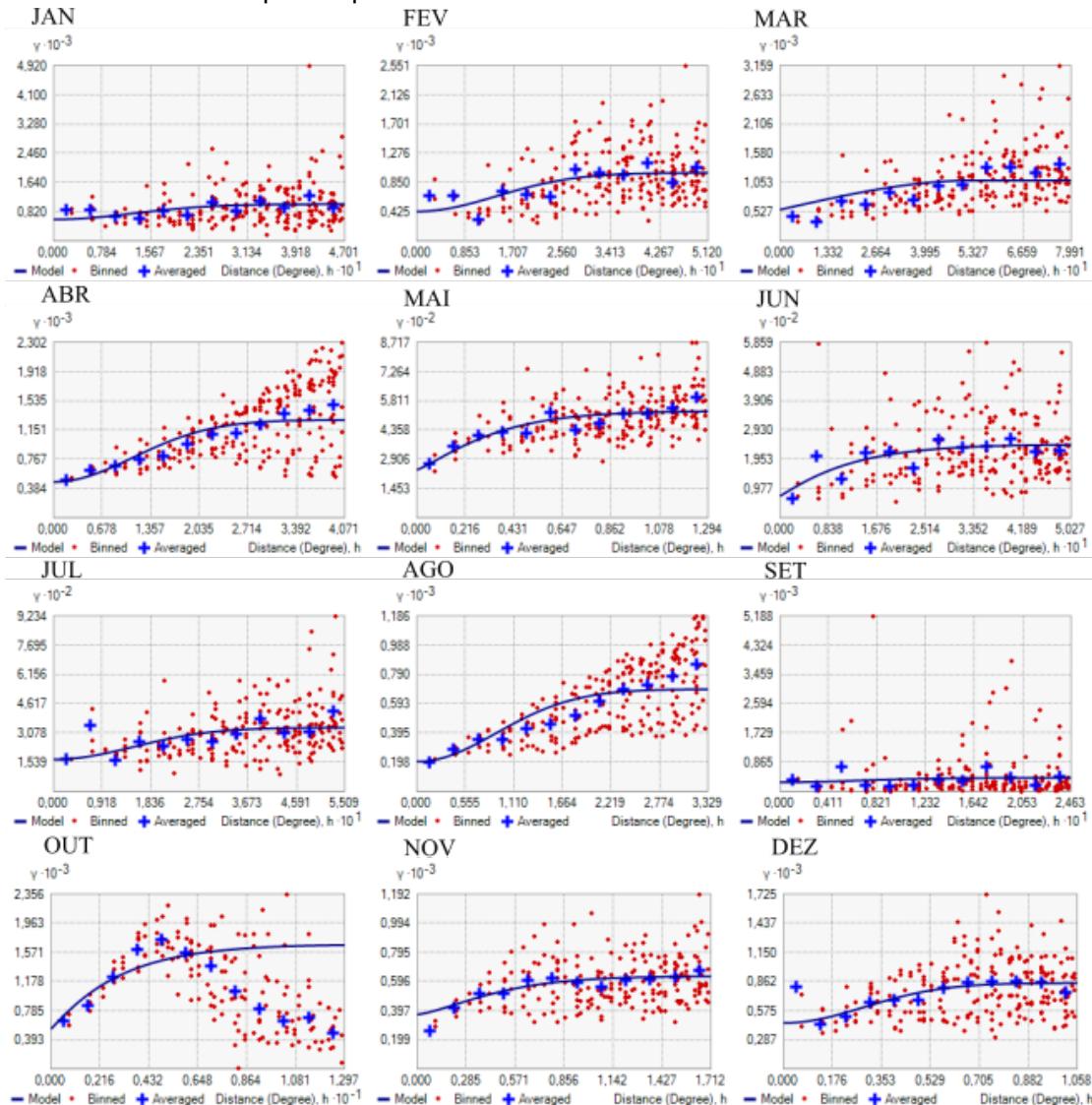


Fonte: : Próprio autor.

Na figura 10 são apresentados os 12 gráficos dos semivariogramas de cada mês de precipitação. No geral, o semivariograma comportou-se de maneira semelhante nos 12 meses. Como exemplo, pode ser observado o modelo esférico do mês de janeiro, com um valor de patamar de 506,54, um intervalo de 0,47012 e efeito de pepita 568,3. Portanto, os valores calculados do semivariograma, usando o modelo esférico selecionado, estão dispostos conforme a equação 4.1.

$$\gamma(h) = \begin{cases} 506,54 * (1,5 * (h/0,47012) - 0,5(h/0,47012)^3) & \text{se } h \leq 0,47012 \\ 506,54 & \text{se } h > 0,47012 \end{cases} \quad (4.1)$$

FIGURA 10 – Semivariogramas plotados para médias mensais de precipitação na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



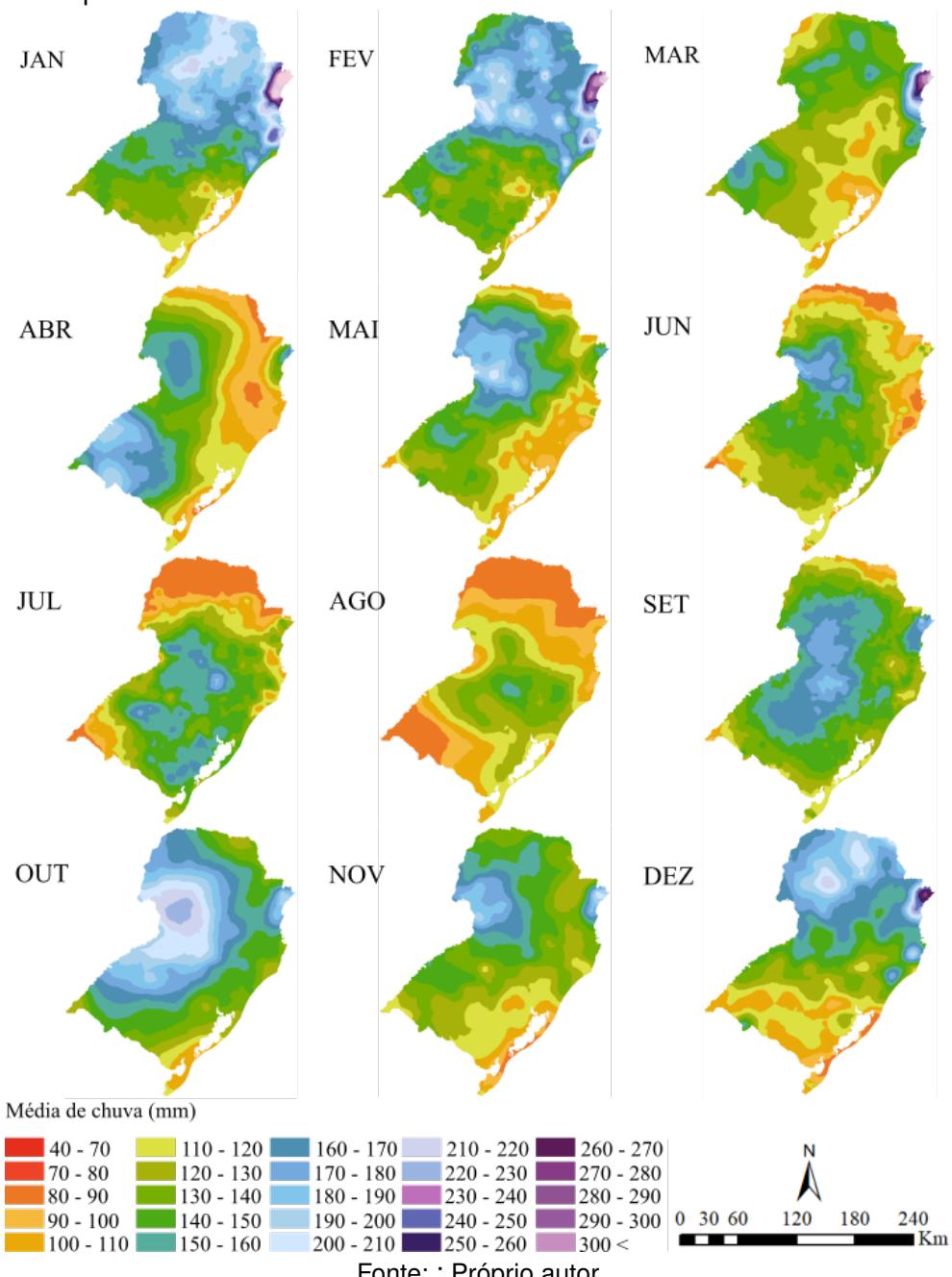
Fonte: : Próprio autor.

Nos gráficos da Figura 10, os pontos azuis representam a curvatura ideal para a interpolação e a curva azul é o resultado da interpolação. Desta maneira, pode ser observado que para o mês de outubro o modelo esférico não apresenta-se de maneira satisfatória, devendo ser realizado um melhor ajuste para o modelo ou a aplicabilidade de outro modelo de semivariograma.

Nas Figuras 11 e 12 estão apresentados os mapas temáticos de precipitação e de evapotranspiração gerados através da interpolação por krigagem. Foram gerados mapas das médias históricas de 30 anos, compreendidos entre 1976 até 2005, para cada mês do ano. Nesses mapas é possível visualizar a variabilidade espacial e temporal da precipitação e evapotranspiração média mensal.

O município que apresentou a maior média mensal de chuva foi a de Morretes, localizada na região Leste do Estado do Paraná, ultrapassando os 3502mm acumulados

FIGURA 11 – Médias mensais de precipitação espacializadas na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

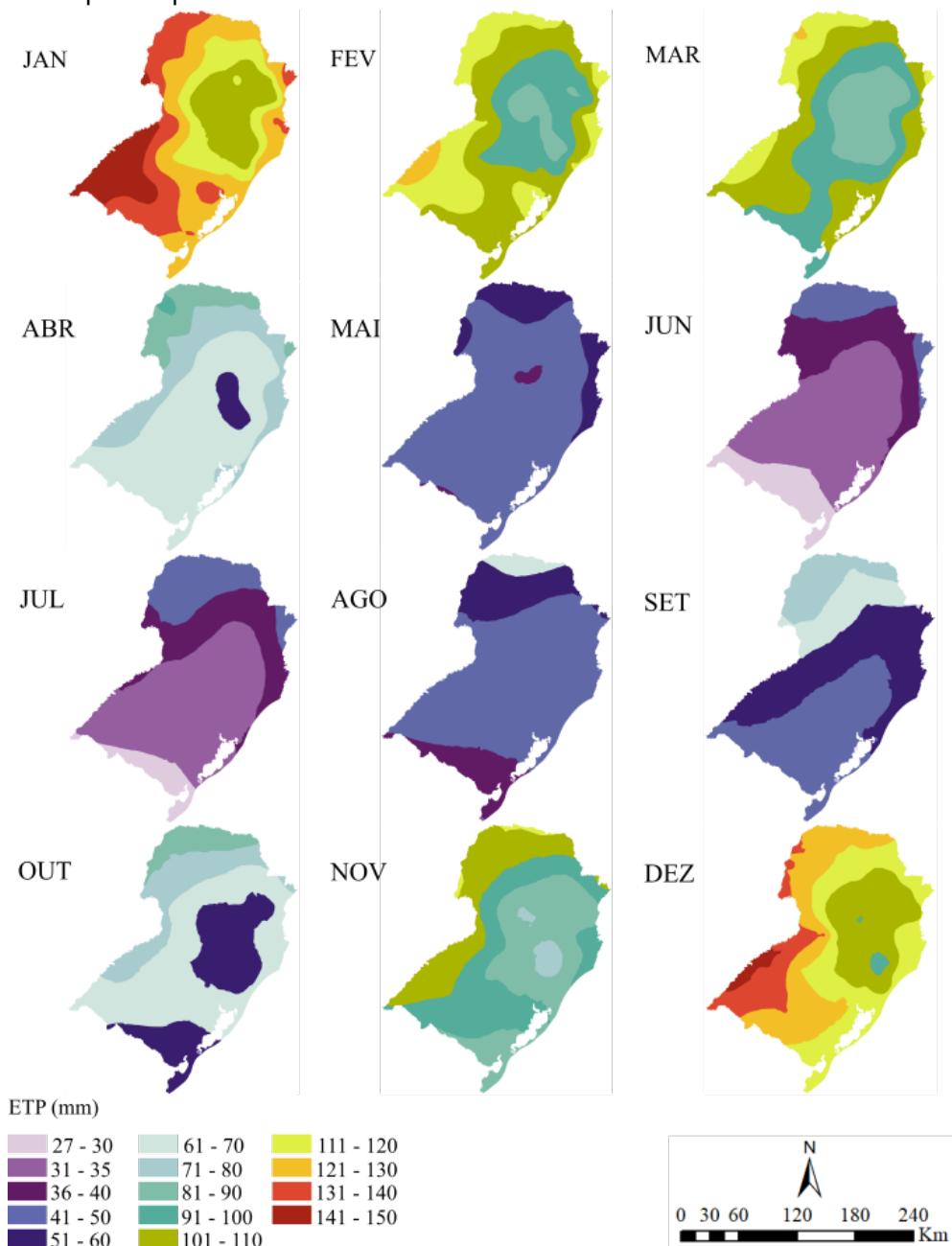
durante todo o ano. Já a estação de Passo da Cruz, localizado no município gaúcho de Barra do Quaraí, região da Fronteira Oeste, com uma média mensal de 88 mm e 1055 mm durante o ano.

Observando os mapas da Figura 11, a região Norte do Paraná expõem as maiores médias de precipitação durante o período sazonal de verão, apresentando médias entre 160 mm até ultrapassar os 300 mm mensais, diferentemente nos meses compreendidos entre Abril a Setembro, com médias, em algumas localidades, 40 mm.

O estado de Santa Catarina, no período em análise, apresentou médias entre

98 mm, no município de Meleiro, na Região Sul Catarinense e chegando aos 231 mm no município de Garuva, na Região Norte Catarinense. Já a maior média gaúcha está localizada no município de Santiago, na Região Central gaúcha e as menores na região da Fronteira Oeste.

FIGURA 12 – Médias mensais de evapotranspiração espacializadas na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

A resultante da espacialização da evapotranspiração, perda hídrica do sistema, ou seja, perda de água do solo por evaporação e a perda de água das plantas por transpiração, pode ser observada na Figura 12. De maneira geral, as maiores perdas hídricas estão concentradas no verão, entre dezembro e janeiro e o período de menor perda hídrica está concentrado no período sazonal do inverno até o mês de setembro.

A maior média de evapotranspiração localiza-se na região chamada de Entre Rios, na estação localizada no município de Umuarama, no Estado do Paraná, chegando aos 1107 mm durante os 12 meses. Já o município que apresenta a menor média de ETP é a de São Joaquim, município localizado na região serrana de Santa Catarina, sendo o município com maior altitude do estado, apresentando um montante de 676 mm de EPT durante o ano.

4.4 ESPACIALIZAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

A Figura 13 contém as fases para a espacialização das resultantes do balanço hídrico climatológico, na Região Sul do Brasil, fluxograma semelhante ao da Figura 9, entretanto, difere-se nos parâmetros de entrada. Anteriormente, um dos parâmetros de entrada, eram as médias de precipitação ou evapotranspiração que, para o balanço hídrico, é necessário a inserção das duas informações. Com a inclusão da precipitação e da evapotranspiração em conjunto do valor da capacidade de água disponível no solo (CAD), outro parâmetro de entrada, pode-se realizar o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico.

A ferramenta Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico foi inserido no *Model-Builder*, e calculado através de um script em *Python*, criado para este estudo, podendo ser observado no Apêndice C. O próximo passo, é a inserção das resultantes do cálculo do balanço hídrico com as respectivas estações de monitoramento que captaram as médias de precipitação e evapotranspiração, realizando, no passo seguinte, a interpolação e, posteriormente, surgindo a espacialização na Região Sul do Brasil.

Entre as Figuras 14 até 23 são apresentadas as resultantes do cálculo do Balanço Hídrico Climatológico nos 12 meses do ano, com uma Capacidade de Água Disponível (CAD) de 50mm, 75mm, 100mm, 125mm e 150mm. A Figura 14 representa os valores de excedente hídrico (EXC) com uma CAD de 50mm, ou seja, o volume hídrico que sobrou após o período chuvoso somado a perda por drenagem profunda e escorrimento superficial, podendo apresentar duas situações (Equações 4.2 e 4.3):

- quando $ARM < CAD$:

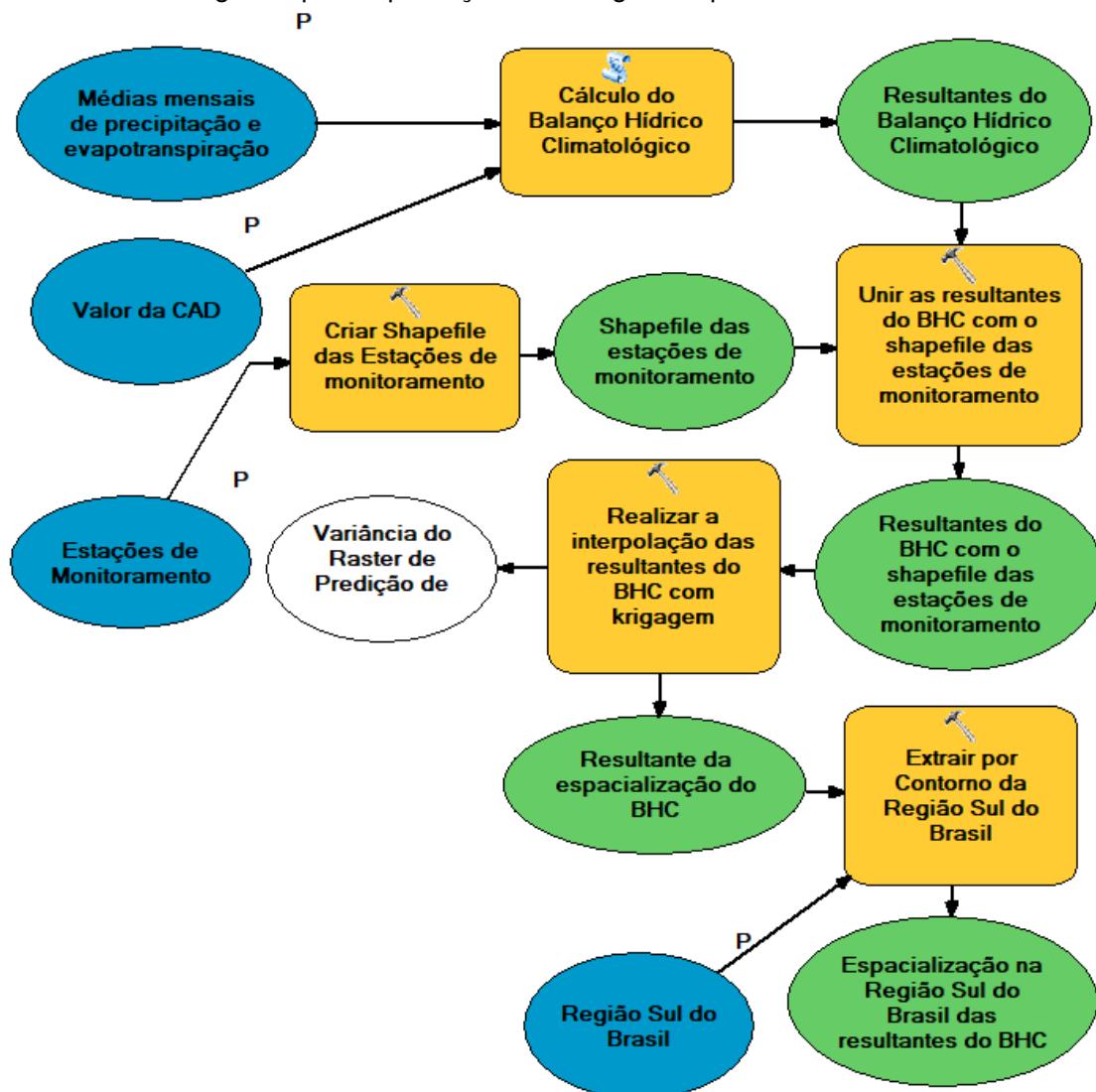
$$EXC = 0 \quad (4.2)$$

- quando $ARM = CAD$:

$$EXC = (P - ETP) - ALT \quad (4.3)$$

A análise iniciou-se pelo período sazonal do inverno, com a finalidade de evitar valores negativos de CAD na região do Rio Grande do Sul, sendo perceptível os baixos valores de EXC no período sazonal de verão, apresentando médias entre 0mm a 40mm de EXC, expondo uma melhora a partir do mês de Abril.

FIGURA 13 – Fluxograma para a produção das imagens espacializadas da resultante do BHC



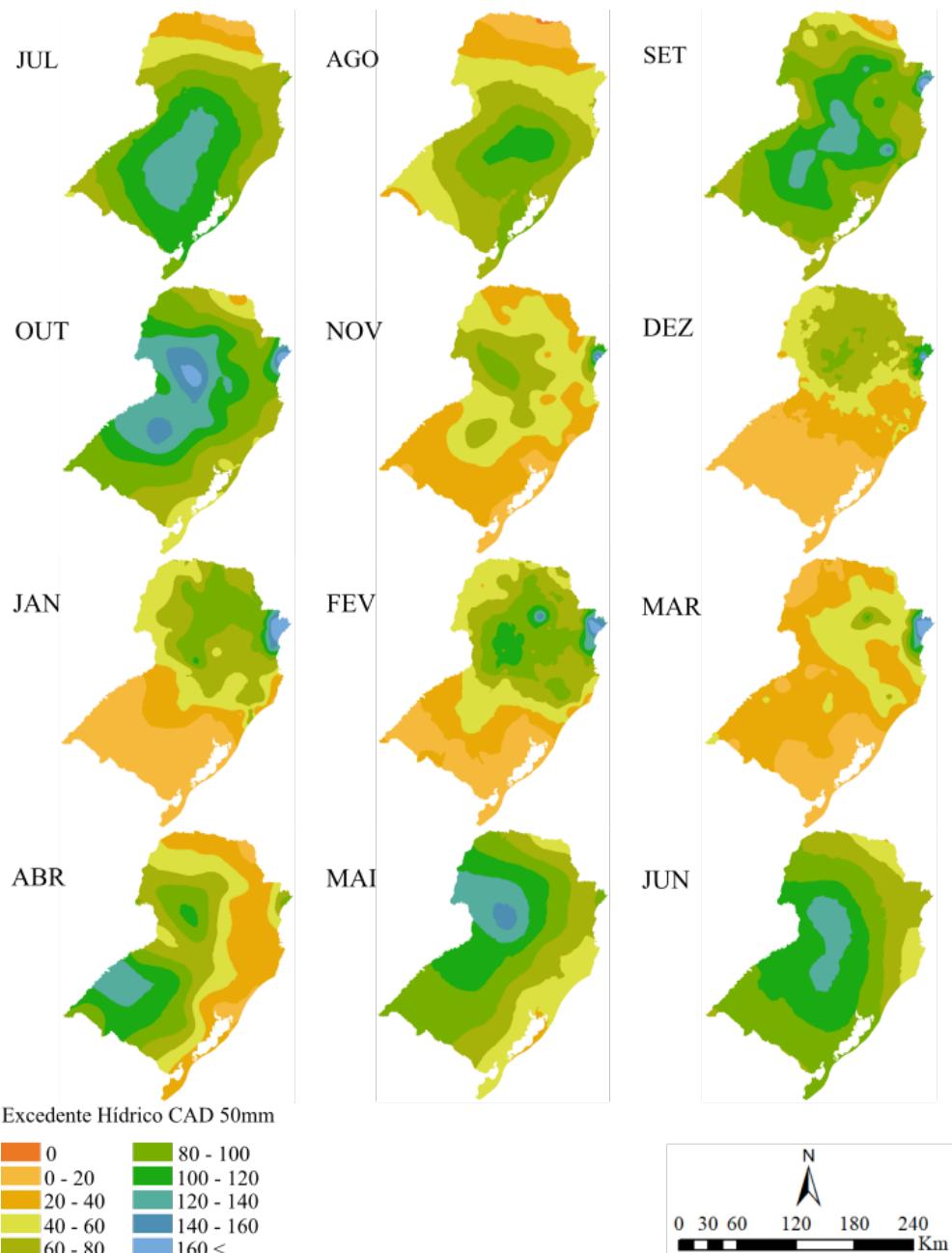
Fonte: : Próprio autor.

A Estação que apresentou o menor acúmulo durante o ano está localizada no município de Santa Mariana, na região Norte do Estado do Paraná, com um montante de 274mm durante os 12 meses e a estação com maior EXC é a do município de Paranaguá, na região Litorânea paranaense, com 2471mm durante o ano.

O resultado da espacialização da deficiência hídrica (DEF), com uma CAD de 50mm, está apresentado na Figura 15, resultante da subtração do valor da evapotranspiração potencial com o valor de evapotranspiração real (ETR) que realmente ocorre em função da disponibilidade de água no solo.

As médias resultantes estão entre 0mm e chegando a mais de 36mm de perda hídrica, no mês de dezembro, no município de Araranguá, município na região litorânea no extremo sul catarinense. O mês de dezembro apresenta a maior amplitude nos valores das médias de DEF e a menor amplitude está no mês de julho, localizadas nos municípios paranaenses de Bandeirantes e de Bela vista do Paraíso, na região norte

FIGURA 14 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



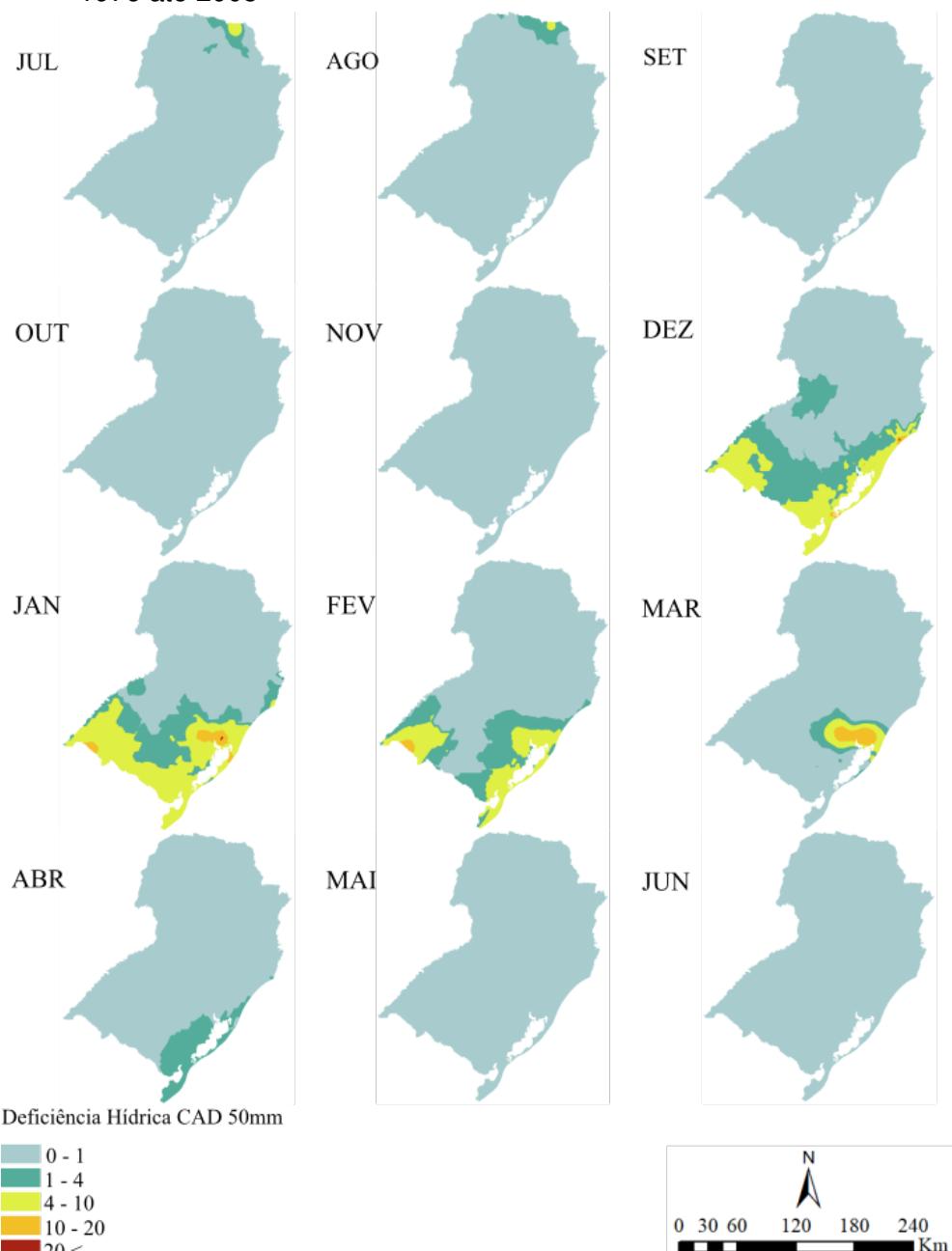
Fonte: : Próprio autor.

da área de estudo.

Nos meses compreendidos entre setembro a novembro e de maio a junho, a Região Sul do Brasil não apresenta deficiência hídrica, com uma CAD de 50mm. As maiores deficiências localizam-se na região Sul do estado gaúcho, apresentando perdas, em torno de 10mm de média ao mês.

A Figura 16 representa a espacialização dos valores com uma CAD de 75mm. De igual forma a CAD de 50mm, a estação de Santa Mariana apresentou a menor média,

FIGURA 15 – Deficiência Hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005

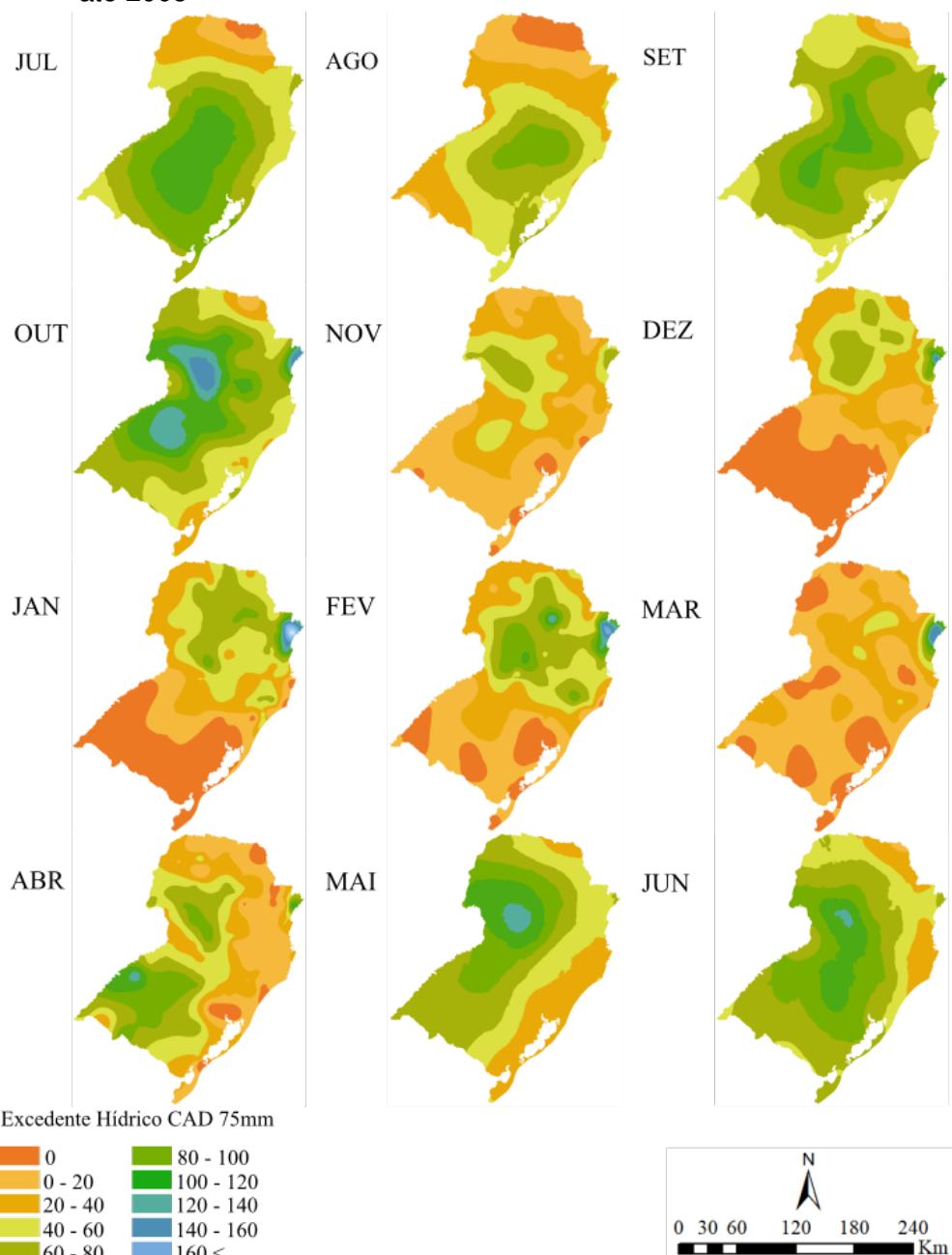


Fonte: : Próprio autor.

durante os 12 meses do ano e a estação de Paranaguá apresentou a maior média de Excedente Hídrico. A CAD de 75mm começa a apresentar áreas com ausência de EXC, podendo ser observado nos meses de julho e agosto e entre novembro a abril. No estado do Rio Grande do Sul, concentrando-se na Região da Campanha Gaúcha, as médias de EXC permanecem zeradas no período sazonal de verão.

A deficiência hídrica, com uma CAD de 75mm, pode ser observado na Figura 17. As médias, nos doze meses, permaneceram entre 0mm, chegando a 78mm de DEF, em toda a Região Sul do Brasil. Praticamente não apresentou áreas com DEF, salvo os

FIGURA 16 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005

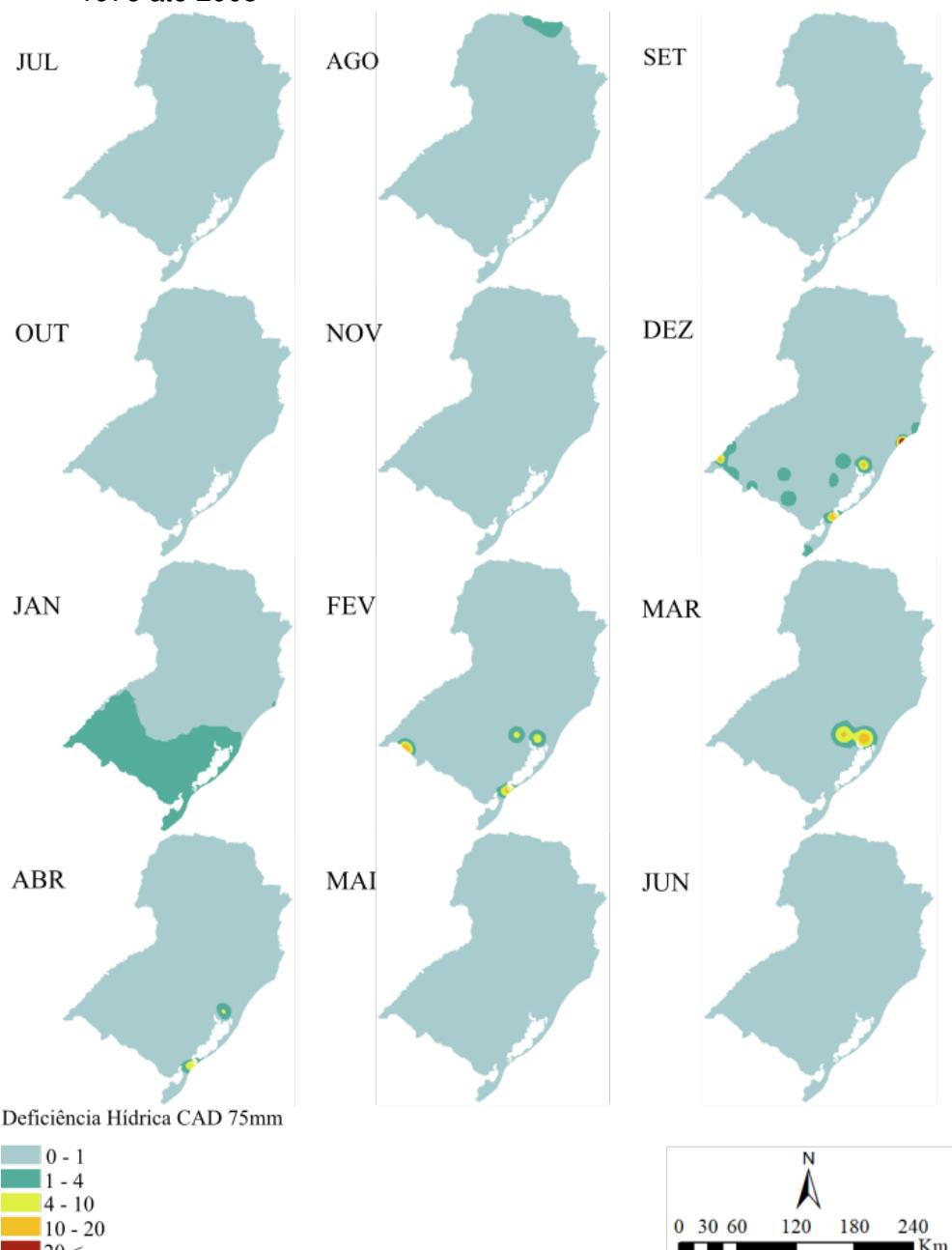


meses entre dezembro a abril, localizados em áreas do Rio Grande do Sul, no litoral de Santa Catarina e em Agosto, no norte do estado paranaense.

Observam-se pequenas áreas com um volume superior a 20mm de perda hídrica, a exemplo do litoral de Santa Catarina e áreas com perdas hídricas entre 10 a 20mm, em áreas localizadas no estado gaúcho.

A Figura 18 apresenta as imagens geradas para Excedente Hídrico, com uma CAD de 100mm. Analisando visualmente a figura, verifica-se que praticamente não

FIGURA 17 – Deficiência Hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005

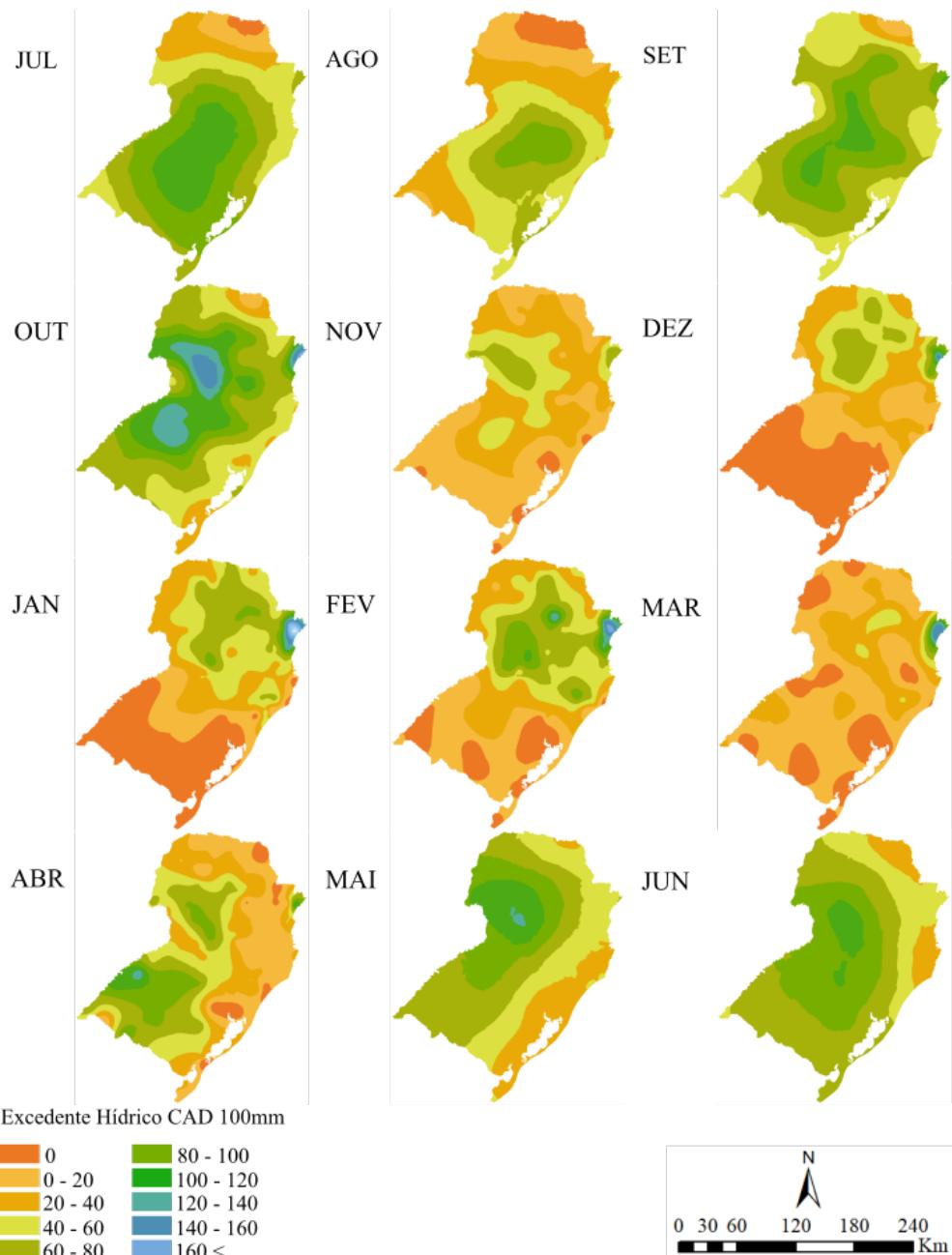


Fonte: : Próprio autor.

houve diferenças com relação ao CAD de 75mm, salvo pequenas regiões entre os meses de abril e maio. Novamente, a menor média anual de EXC está localizada na Estação de Santa Mariana, com 272mm e a maior média está na estação de Morretes, com 2472mm.

As resultantes da deficiência hídrica, com uma CAD de 100mm, podem ser observados na Figura 19. Os meses do ano que apresentaram as deficiências hídricas são os mesmos que na CAD 75mm, com pequenas diferenças nos meses de janeiro e abril.

FIGURA 18 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 100mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005

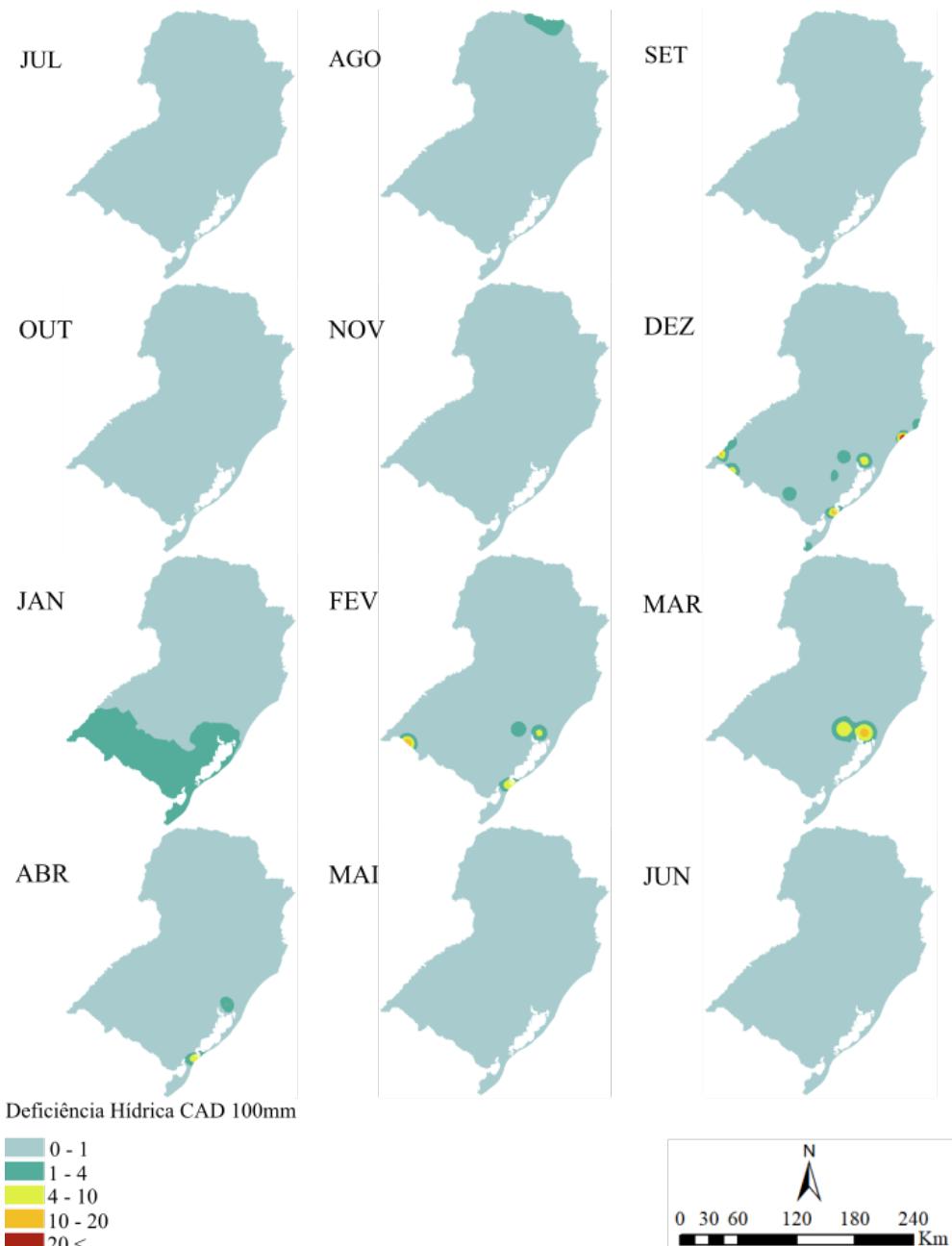


Fonte: : Próprio autor.

As Figuras 20 e 22 representam os excedentes hídricos com CAD de 125mm e 150mm, respectivamente. As imagens resultantes apresentam-se de forma semelhante, com pequenas diferenças localizadas no litoral do Estado do Rio Grande do Sul, com uma CAD de 100mm.

A menor soma das médias permaneceu na estação de São Jerônimo, município localizado na Região Metropolitana de Porto Alegre, com 263mm de médias anuais, tanto na CAD de 125mm e 150mm. De igual forma na análise das outras CAD, a estação localizada no município de Morretes apresentou a maior soma das médias

FIGURA 19 – Deficiência Hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 100mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



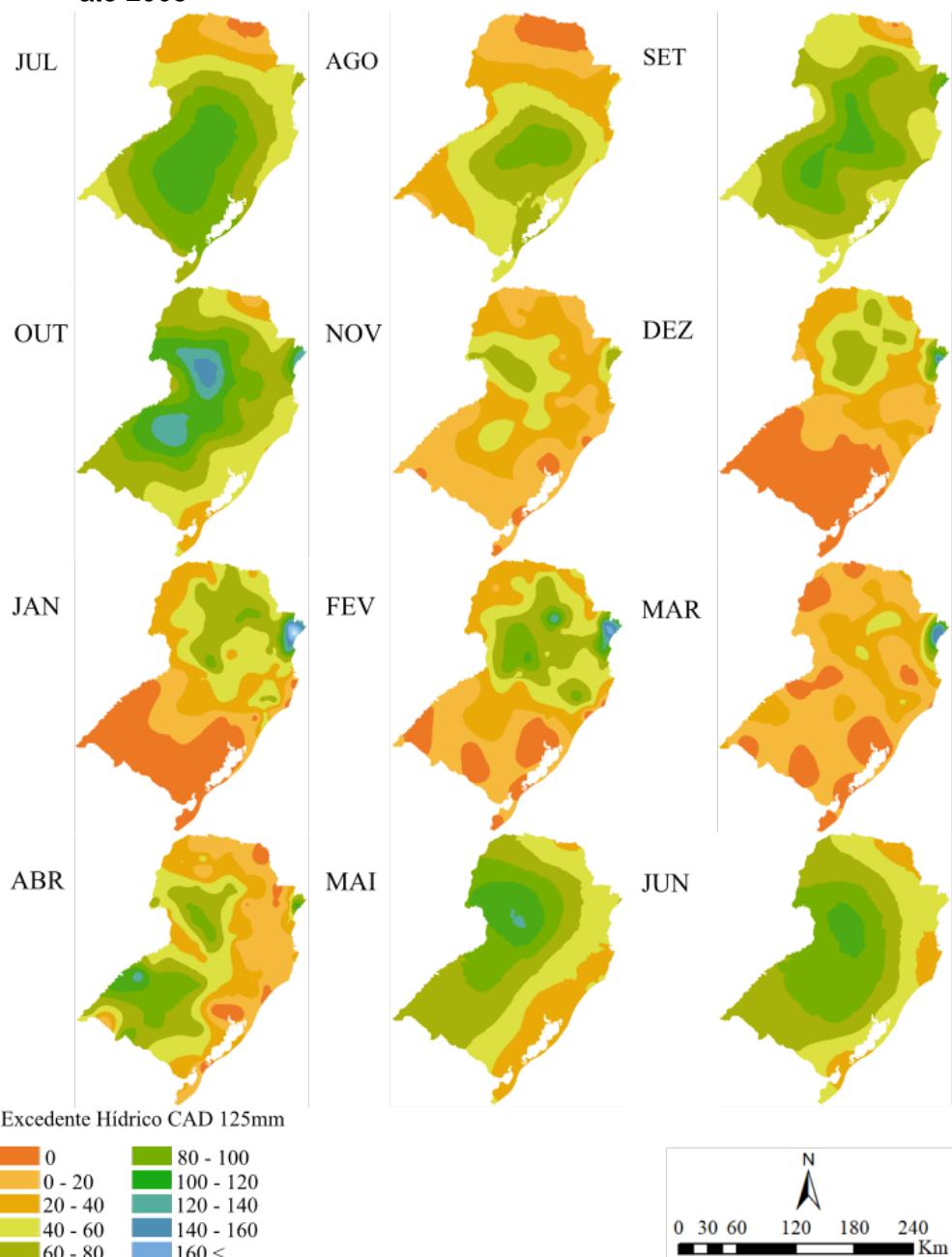
Fonte: : Próprio autor.

mensais, tanto na CAD de 125 e 150mm.

As últimas análises de deficiência hídrica podem ser observadas na Figura 21, com uma CAD de 125mm e na Figura 23, para uma CAD de 150mm.

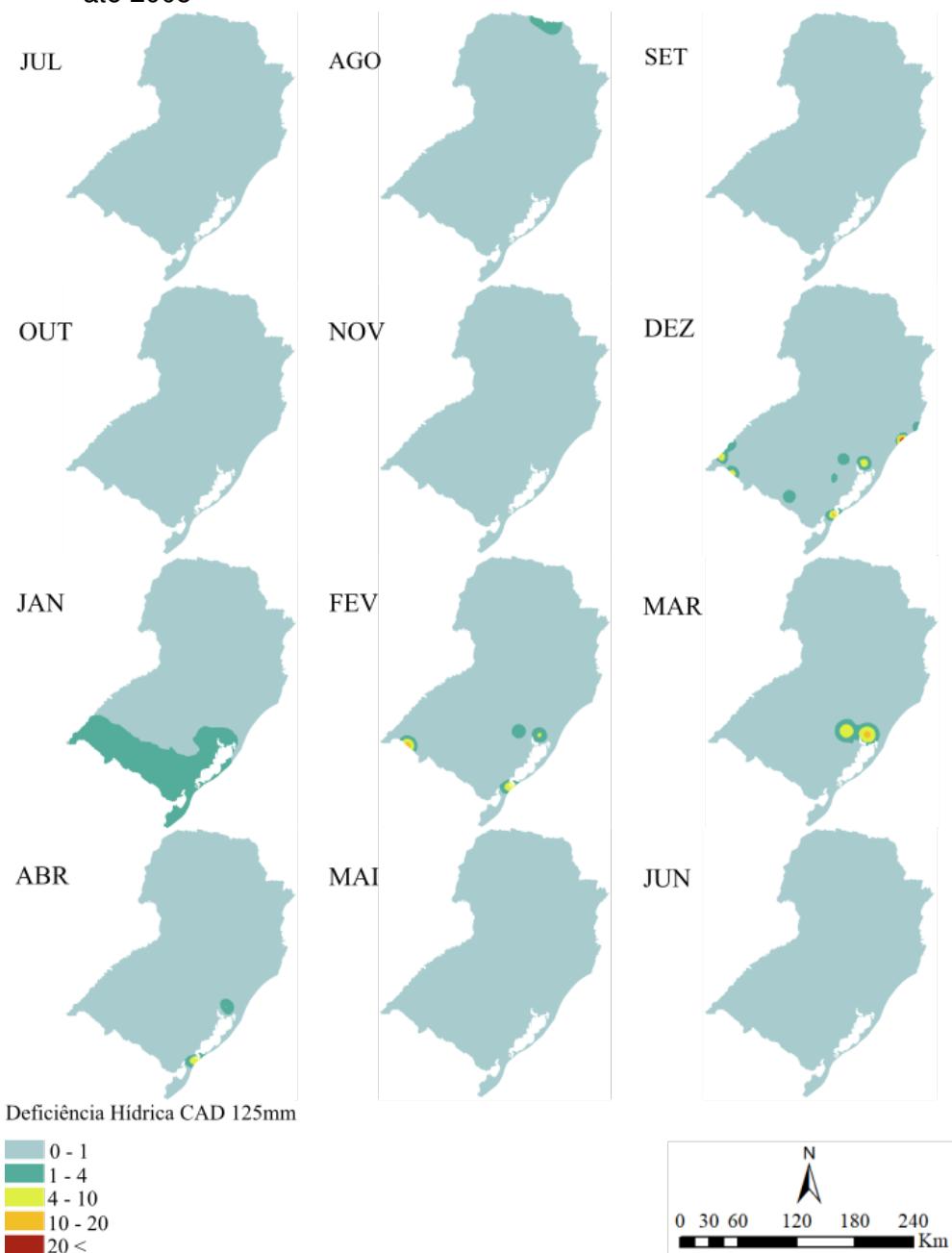
As imagens apresentam poucas mudanças entre as CAD, a exemplo das estações localizadas no município gaúcho de Encruzilhada do Sul, no Vale do Rio Pardo, e na estação localizada no município de Uruguaiana, situado no extremo ocidental do estado do Rio Grande do Sul, junto à fronteira fluvial com a Argentina e Uruguai.

FIGURA 20 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 125mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



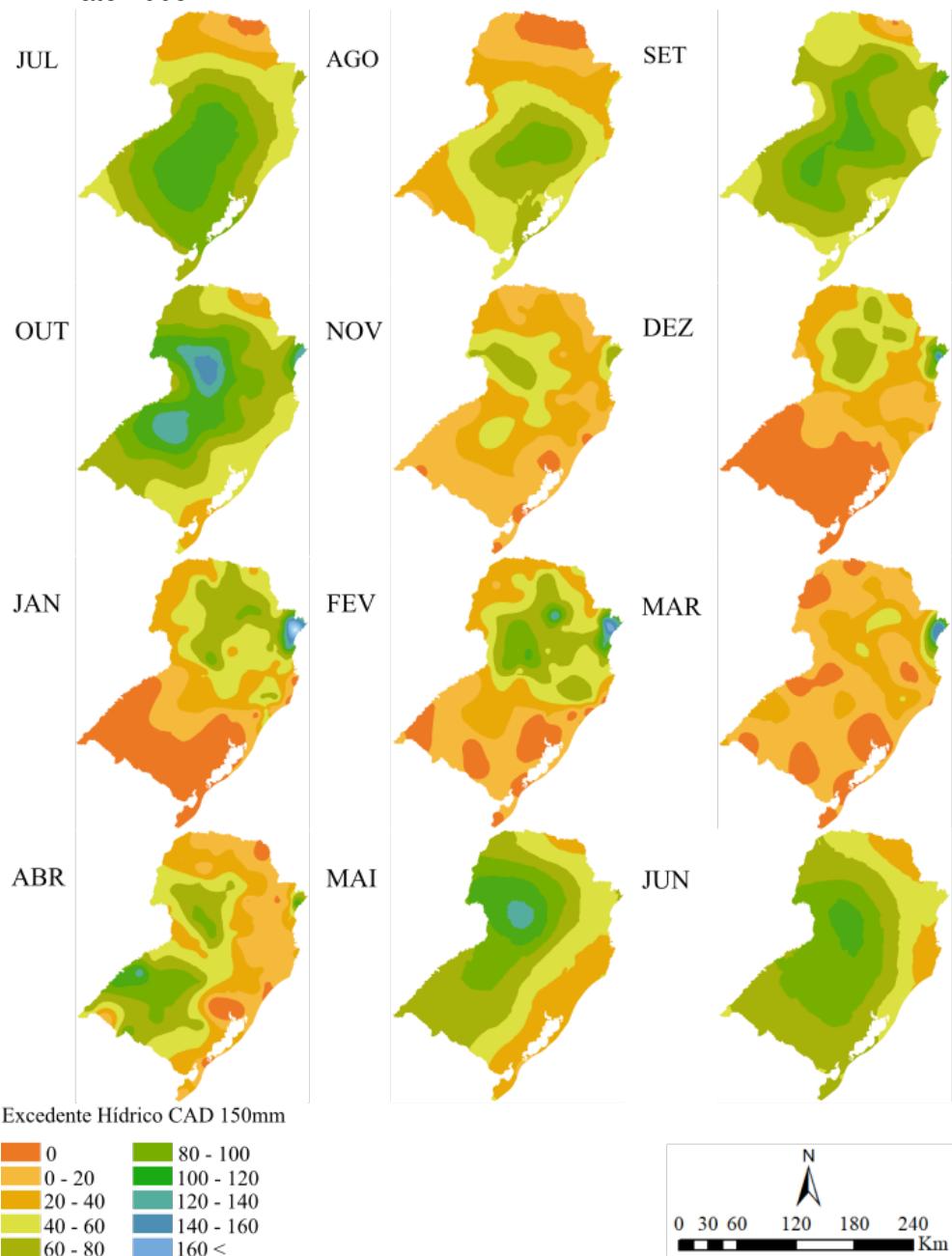
Estes dois municípios apresentaram um maior índice de deficiência hídrica, no mês de dezembro na CAD de 125mm em comparação com a CAD de 150mm.

FIGURA 21 – Deficiência hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 125mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



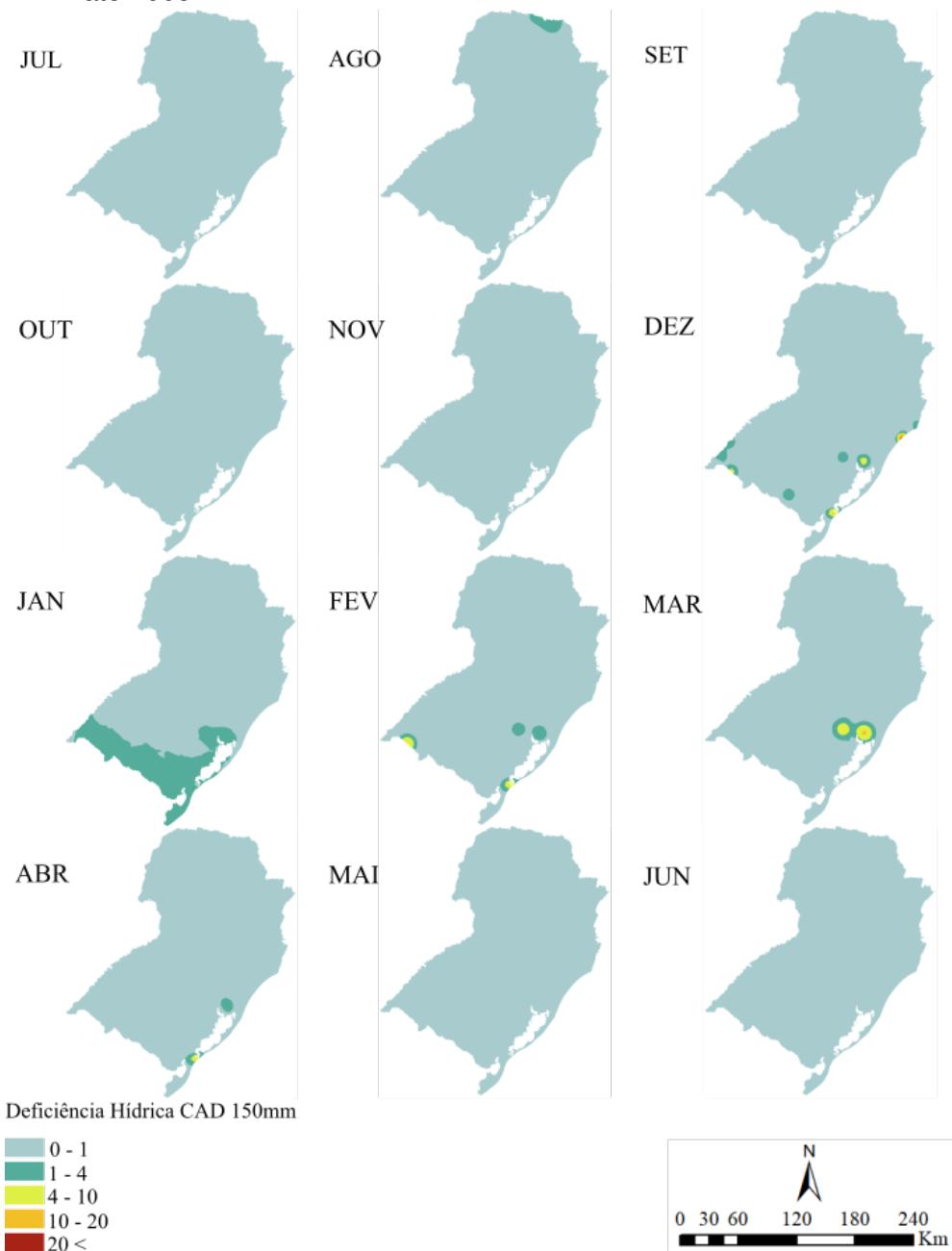
Fonte: : Próprio autor.

FIGURA 22 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 150mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

FIGURA 23 – Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 150mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

4.5 ESPACIALIZAÇÃO DAS SEMEADURAS DO CAPIM SUDÃO

Observando as resultantes dos solos analisados, existem poucas diferenças entre as CAD de 100mm, 125mm e 150mm. Por conta disso, a delimitação das áreas com maior excedente hídrico e deficiência hídrica para a cultura do capim sudão foram analisados em solos com CAD de 50mm e 75mm. Para o prosseguimento desse estudo, é necessária a determinação da ETc, que pode ser obtida através da Equação 4.4 (PEREIRA; SENTELHAS; ANGELOCCI, 2007), substituindo, no cálculo do BHC, a ETR pela ETc, em que o Kc é o coeficiente de cultura.

$$ETc = Kc \cdot ETP \quad (4.4)$$

Os valores de coeficiente de cultura foram retirados do estudo da evapotranspiração do cultivo (ALLEN *et al.*, 2006), levando-se em consideração, dados meteorológicos e coeficientes de cultivo. De acordo com Allen *et al.* (2006), para descrever e construir a curva do coeficiente do cultivo, são necessários três valores de Kc: o primeiro é o valor corresponde a etapa inicial (Kc_{ini}), o segundo, o estágio de meia temporada (Kc_{med}) e, por último, o valor da etapa final (Kc_{fin}). Os valores descritos neste estudo estão expressos na tabela 5.

TABELA 5 – Valores de Kc

Cultivo	(Kc_{ini})	(Kc_{med})	(Kc_{fin})
Pasto de Sudão	0,50	0,90	0,85

A espacialização das semeaduras do capim sudão será analisada em períodos conforme Silveira, Sant'anna *et al.* (2015) definem. Silveira, Sant'anna *et al.* (2015) informam que a época de plantio do capim sudão é bastante ampla, preferencialmente ocorre entre os meses de setembro até fevereiro. Silveira, Montardo e Sant'Anna (2019) também sugerem estratégias de manejo, com o uso de mesclas forrageiras de verão e inverno. O capim sudão foi uma das espécies cultivadas para o estudo, na forma de pastos monoespecíficos, realizando a transição das pastagens de inverno para primavera, com dois períodos de utilização, aqui denominados de primeira e segunda semeaduras:

- Primeira Semeadura: outubro à março;
- Segunda Semeadura: dezembro à março.

A Tabela 6 apresenta os valores aplicados de Kc, por semeadura e por mês. De acordo com Allen *et al.* (2006), os valores de Kc_{med} e Kc_{fin} para o capim sudão são bastante similares, como pode ser observado na Tabela 5, motivo pelo qual serão

aplicados os valores de Kc_{ini} para o primeiro mês de cada semeadura e Kc_{med} para os meses restantes.

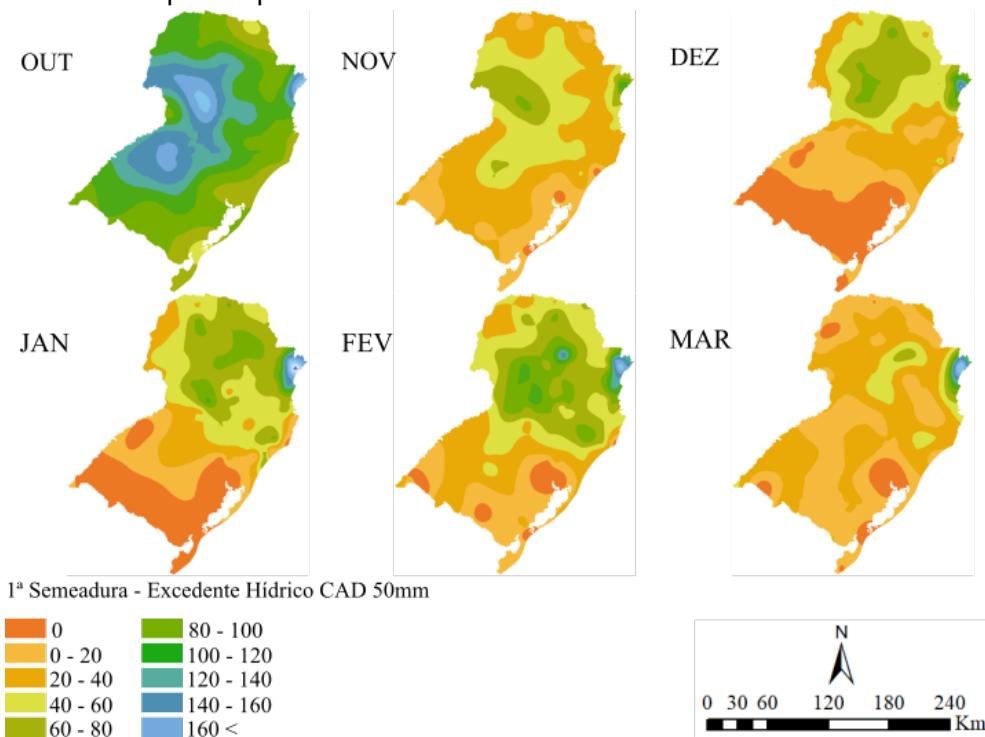
TABELA 6 – Valores de Kc aplicados nas duas semeaduras para o capim sudão

Mês	1ª Semeadura	2ª Semeadura
Outubro	0,50	-
Novembro	0,90	-
Dezembro	0,90	0,50
Janeiro	0,90	0,90
Fevereiro	0,90	0,90
Março	0,90	0,90

4.5.1 Primeira Semeadura

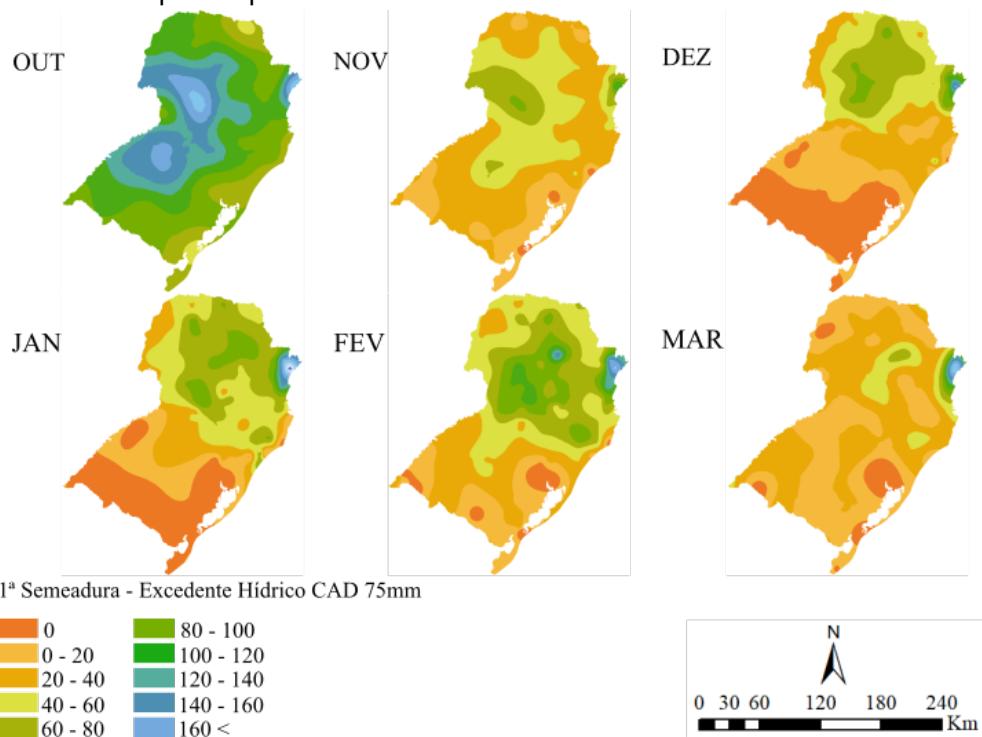
As Figuras 24 e 25, representam a espacialização da primeira semeadura de excedente hídrico com CAD de 50mm e 75mm, respectivamente. Realizando uma análise de forma visual, é praticamente imperceptível observar alguma diferença entre as CAD's. A primeira semeadura apresentou a menor soma das médias de excedente hídrico no município de Cachoeirinha, localizado na Região Metropolitana da capital gaúcha, apresentando o valor de 57mm. Já a maior soma das médias está localizada no município litorâneo paranaense de Paranaguá, apresentando um valor de 1618mm.

FIGURA 24 – 1ª Semeadura do capim sudão - Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

FIGURA 25 – 1^a Semeadura do capim sudão - Excedente Hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

Apenas em 14 estações, podem ser observadas diferenças entre as médias nas CAD's de 50mm e 75mm, a exemplo do município de Salto com um valor de 44,9mm, localizada no Uruguai, município fronteiriço com a Argentina, situado a 178km da fronteira com o Brasil. A estação localizada neste município, a exemplo de outras no estado de São Paulo, são necessários para este estudo para a correta interpolação dos dados observados. A menor diferença entre as CAD's, está localizado no município de Encruzilhada do Sul, município gaúcho localizado no Vale do Rio Pardo, com um pequeno valor de 0,0016mm. Em geral, as diferenças permanecem abaixo dos 6mm.

O mês de outubro apresentou as maiores médias de excedente hídrico, na primeira semeadura, com valores entre 57mm no município de Cachoeirinha, e 341mm na estação localizada no município de Paranaguá. A partir do mês de novembro, começam as ocorrências de estações sem apresentar excedente hídrico, com a semeadura do capim sudão, a exemplo, novamente, do município de Cachoeirinha e em outros municípios, a saber: Rio Grande, localizada na região sul do Rio Grande do Sul, Quaraí, município fronteiriço com o Uruguai e a estação no município litorâneo de Araranguá, no extremo sul de Santa Catarina.

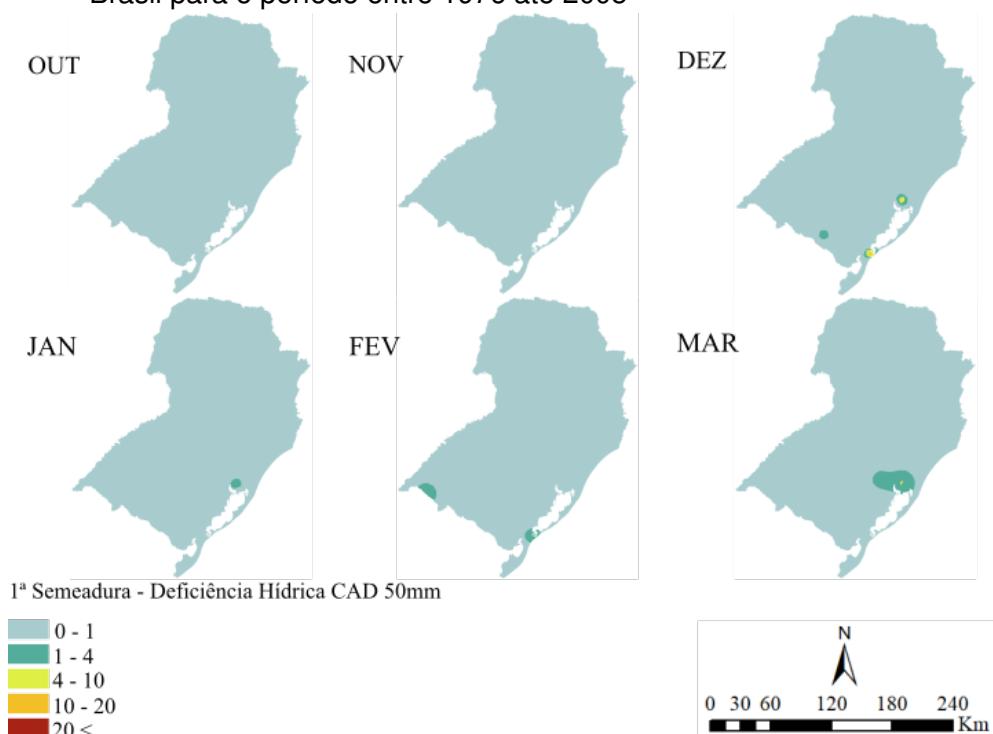
A primeira semeadura do capim sudão, nos meses de dezembro e janeiro, apresenta grandes áreas sem excedente hídrico, a exemplo da Campanha Gaúcha, região localizada no Extremo Sul do Brasil e municípios na Região Sul do Rio Grande

do Sul, a exemplo de Pelotas e Rio Grande. O Rio Grande do Sul, nesses dois meses, não apresenta regiões com excedentes hídricos acima dos 40mm, situação diferente nos outros dois estados da Região estudada. O estado do Paraná apresenta regiões com volumes mais altos, em comparação aos outros dois estados.

Nos meses de fevereiro e março, as regiões sem excedente hídrico permanecem localizadas em áreas isoladas no Rio Grande do Sul, na Região Metropolitana, na Região dos municípios de Rio Grande e Pelotas e no extremo oeste gaúcho. As estações do município gaúcha de Bagé também apresentam uma pequena área de excedente hídrico nulo. A região de Paranaguá, município litorâneo do Estado do Paraná, apresentou as maiores médias de excedente hídrico na primeira semeadura, chegando aos 341mm no mês de outubro e, na menor média de 216mm, no mês de fevereiro.

As Figuras 26 e 27, representam a espacialização da primeira semeadura de deficiência hídrica com CAD de 50mm e 75mm, respectivamente. Nas duas CAD's, praticamente não apresentam estações com médias de deficiência hídrica, a exemplo dos meses de outubro e novembro, expressando um índice muito baixo de deficiência hídrica, permanecendo entre 0mm e 1mm de média. No mês de dezembro, a primeira

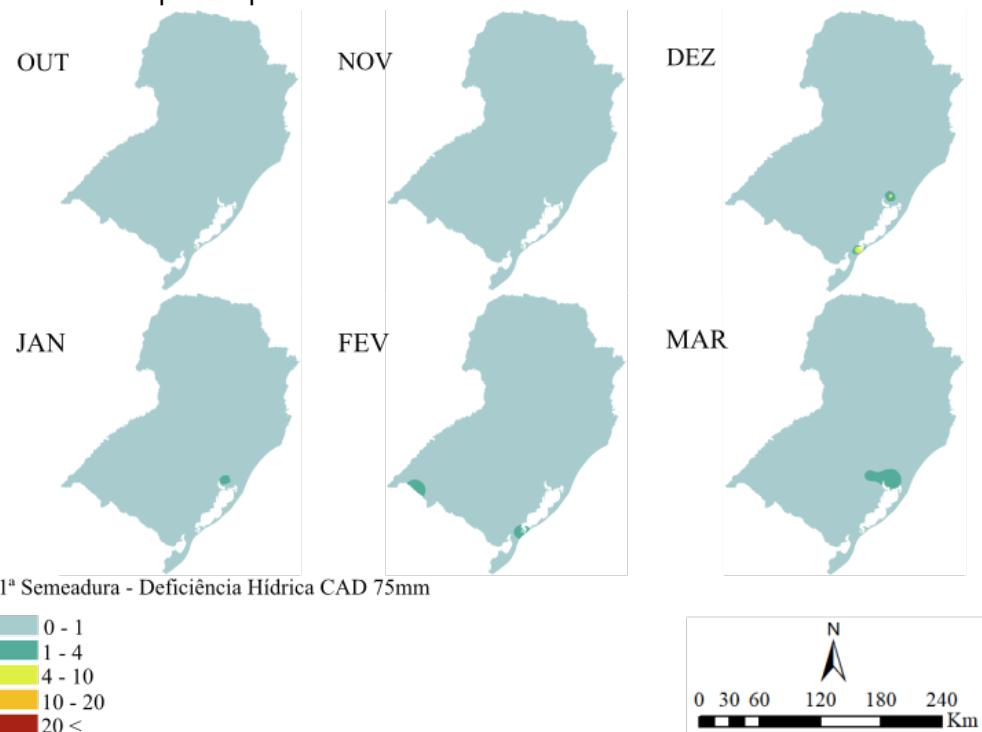
FIGURA 26 – 1^a Semeadura do capim sudão - Deficiência hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

semeadura, com uma CAD de 50mm, apresenta três regiões com deficiência hídrica, localizadas na estação de Cachoeirinha, município metropolitano gaúcho, com média superior a 10mm, no município gaúcho de Rio Grande, com média em torno de 8mm e

FIGURA 27 – 1^a Semeadura do capim sudão - Deficiência hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

na Região do município de Bagé, com média superior a 2mm. A CAD de 75mm, com relação a CAD de 50mm, não apresenta deficiência hídrica na região de Bagé.

O mês de janeiro, nessa primeira semeadura, a única região que apresentou deficiência hídrica foi o município de Cachoeirinha. Já no mês de fevereiro, as duas regiões estão nos municípios de Quaraí, no extremo oeste gaúcho, com média de 14mm e no município litorâneo de Rio Grande, com média de 9mm. O último mês de análise, março apresenta uma única região com deficiência hídrica, no município de Cachoeirinha.

4.5.2 Segunda Semeadura

As Figuras 28 e 29, representam as espacialização da segunda semeadura de excedente hídrico com CAD de 50mm e 75mm, respectivamente, entre os meses de dezembro à março. De igual forma a primeira semeadura, as CAD's não apresentam, aparentemente, mudanças nas médias mensais de excedente hídrico, quando compararam-se as CAD de 50mm e 75mm. O município que apresentou a maior soma das médias, durante a segunda semeadura, foi a de Paranaguá, na região litorânea paranaense, com 1107mm. Já o município com a menor soma das médias, permanece o município de Cachoeirinha, com 20mm, durante toda a segunda semeadura.

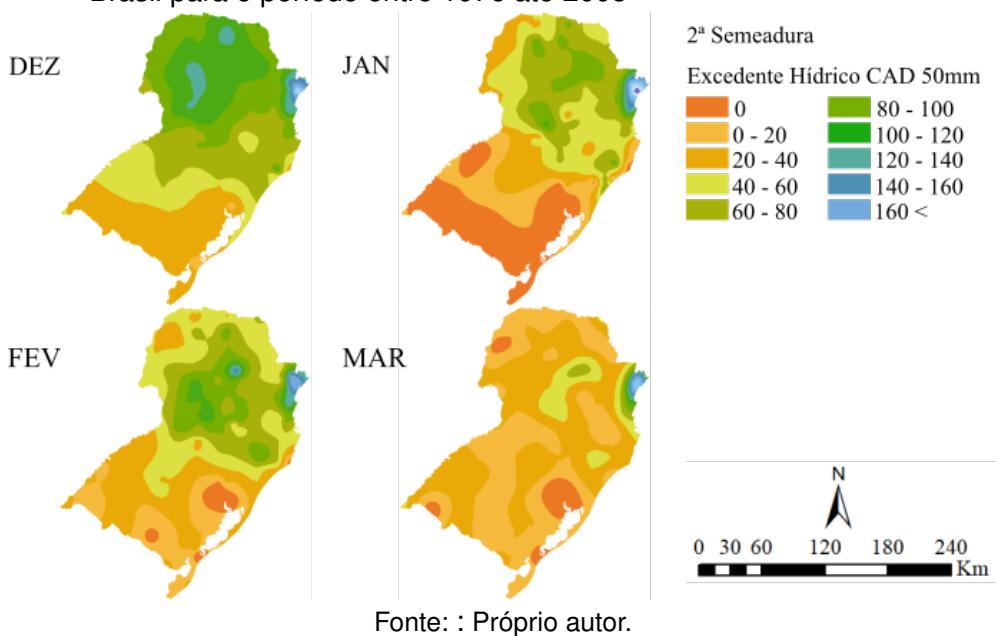
As pequenas diferenças entre as médias nas CAD's, estão localizadas em 10

estações, todas abaixo de 0,9mm, concentradas no litoral gaúcho e catarinense e na região da campanha gaúcha. A localidade que apresentou a maior diferença entre as CAD, foi o município de Araranguá, no extremo sul litorâneo catarinense, com 0,86mm e a menor diferença está na estação de Santa Vitória do Palmar, no extremo sul do Brasil, na fronteira com o Uruguai, com 0,03mm de diferença, entre as CAD's de 50mm e 75mm.

O mês de dezembro apresentou uma média de 95mm de excedente hídrico, durante a segunda semeadura. De igual forma as análises anteriores, o município de Paranaguá apresentou a maior média, em torno de 310mm e a menor média está concentrada no município de Araranguá, com 2mm de excedente hídrico. A metade Sul do Rio Grande do Sul apresentou, no máximo, 20mm de excedente, sendo a região com menor média. Realidade diferente do estado paranaense, que apresentou médias superiores a 160mm. Já o estado catarinense, computou médias entre 40mm e 80mm de excedente hídrico, comportando-se como uma zona de transição, de uma região de menor média para outra com maior média de excedente hídrico.

O período do mês janeiro computou grandes áreas sem excedente hídrico, na metade sul do estado gaúcho, podendo ser observado nas figuras 28 e 29. Outras localidades que apresentam esta característica, são as regiões do município de Itaqui, localizado às margens do Rio Uruguai, no extremo oeste gaúcho e a região metropolitana gaúcha. A região central gaúcha apresenta regiões com, no máximo, 20mm de excedente, diferentemente da região norte gaúcha que começa a apresentar médias entre 20mm a 40mm. O estado do Paraná apresentou as maiores médias e, novamente, a região de Paranaguá permanece com os índices de excedente hídrico superiores ao restante dos municípios da Região Sul.

FIGURA 28 – 2^a Semeadura do capim sudão - Excedente hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

Novamente, no mês de fevereiro, o Rio Grande do Sul apresentou as menores médias, entretanto, com poucas regiões sem excedente hídrico, a exemplo do município de Bagé, na Região da Campanha, no município de Rio Grande e na Região Metropolitana Gaúcha. O estado de Santa Catarina caracteriza-se como uma região de transição, de menores médias para localidades com as maiores médias na área de estudo. Permanece com regiões com índices baixos de excedente hídrico, a exemplo do Município de Laguna, com 3,53mm, chegando aos 129mm no município de Ponte Serrada.

O mês de março foi o período em que a segunda semeadura apresentou as menores médias, com CAD de 50mm e 75mm. Praticamente, em toda a extensão da área em estudo, as médias permanecem entre 0mm e 40mm, salvo em regiões do município catarinense de São Joaquim, com 86mm, no município de Ivaí, localizado no estado do Paraná, com média de 133,9mm e na região litorânea paranaense, com médias superiores a 160mm, chegando aos 277mm de excedente hídrico em Paranaguá.

As Figuras 30 e 31 expressam a deficiência hídrica, na Região Sul do Brasil, com CAD de 50mm e 75mm respectivamente, na segunda semeadura, compreendido entre os meses de dezembro a março. A exemplo da primeira semeadura, a região em estudo, praticamente, não apresentou deficiência hídrica na produção do capim sudão.

Apenas a região metropolitana gaúcha apresentou duas localidades com índices baixos, na segunda semeadura, com uma CAD de 50mm, a exemplo do município de Cachoeirinha e Viamão, e na Mesorregião do Centro Oriental Rio-Grandense, no

FIGURA 29 – 2^a Semeadura do capim sudão - Excedente hídrico mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005

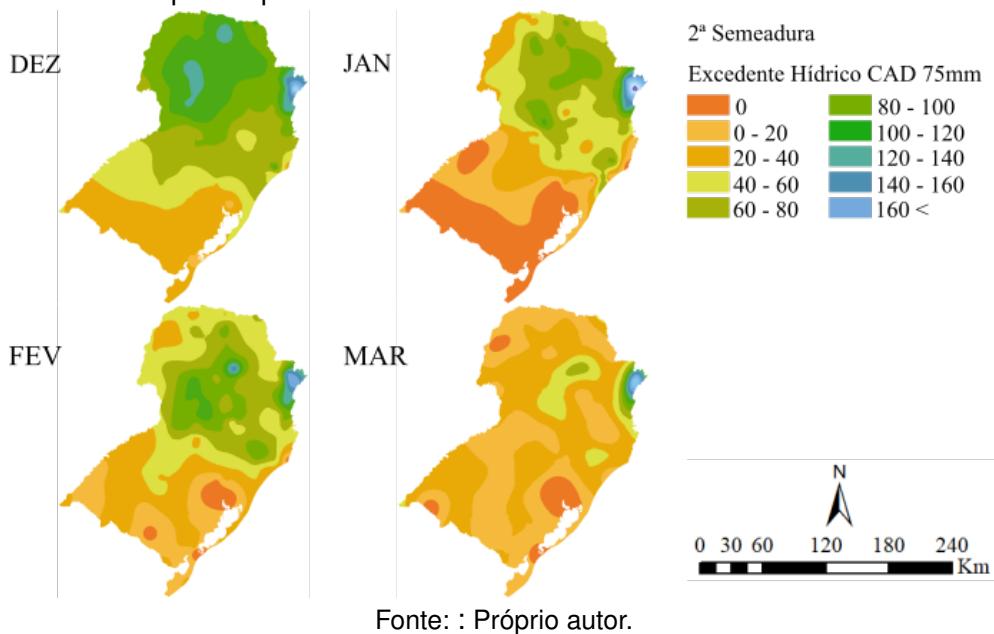
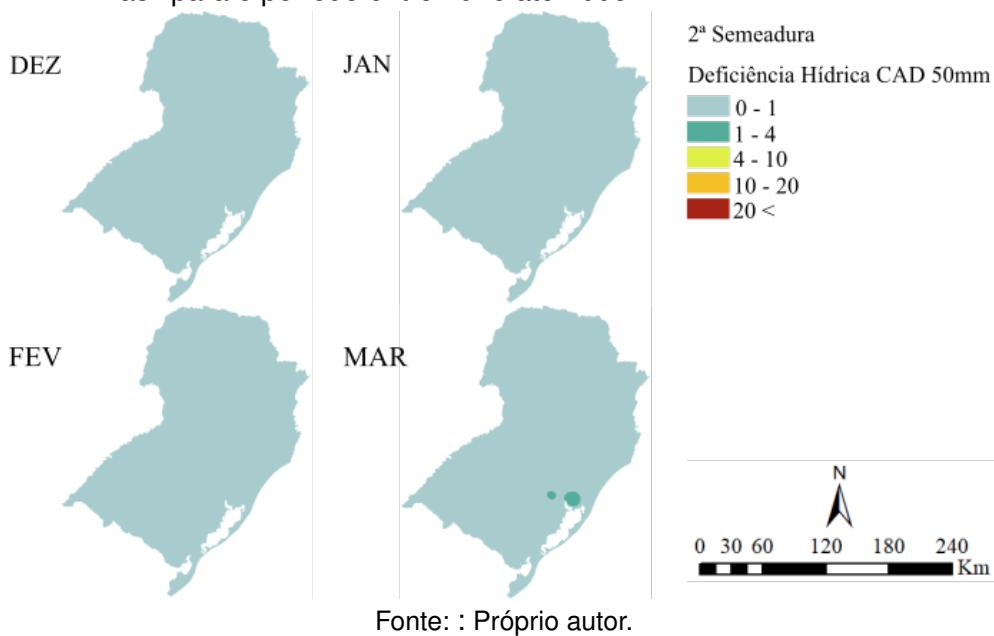


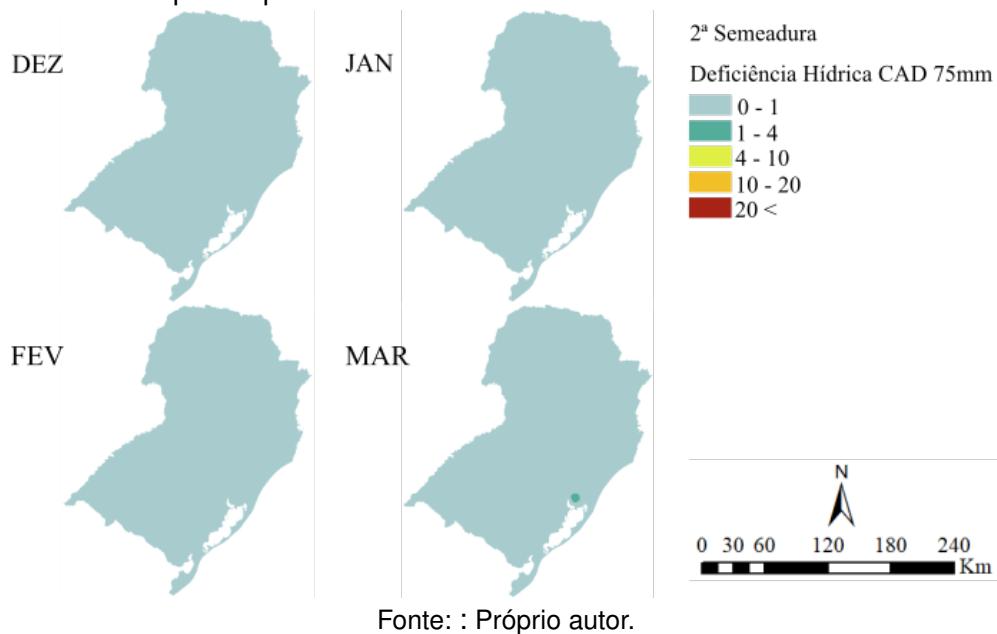
FIGURA 30 – 2^a Semeadura do capim sudão - Deficiência hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 50mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



município de Taquari, no mês de março. O restante dos meses apresentaram médias inferiores a 1mm de deficiência. Com a CAD de 75mm, a segunda semeadura apresentou somente uma localidade com deficiência hídrica, na região de Cachoeirinha, com aproximadamente, 4mm de média de perca hídrica.

A aplicação da evapotranspiração de cultura (ETc) para o capim sudão, nas resultantes do BHC, apresentou, para o município de Paranaguá, no litoral paranaense,

FIGURA 31 – 2^a Semeadura do capim sudão - Deficiência hídrica mensal com o uso do balanço hídrico climatológico para solos com capacidade de 75mm na Região Sul do Brasil para o período entre 1976 até 2005



Fonte: : Próprio autor.

as maiores médias de excedente hídrico, nas duas semeaduras analisadas, computando em média, 277mm nos meses analisados. Já as menores médias de excedentes hídricos estão localizados no município de Cachoeirinha, na Região Metropolitana do Rio Grande do Sul, com um volume perto dos 9mm na primeira semeadura e 5mm na segunda semeadura.

O município de Quaraí, localizado na fronteira com o Uruguai, no extremo oeste gaúcho, apresentou as maiores médias de deficiência hídrica, nas duas semeaduras, computando 7mm na primeira semeadura e 5 na segunda semeadura. Observando as imagens geradas, as médias tendem a permanecer entre 0mm e 1mm em toda a Região do Brasil, caracterizando uma região que, praticamente, não apresenta deficiência hídrica para a produção do capim sudão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste trabalho, foi possível observar que a precipitação pluviométrica comportou-se de forma variável, onde as maiores médias foram localizadas nas regiões oeste e litoral do Paraná e na região oeste de Santa Catarina. Já nas regiões sul do estado gaúcho e norte e noroeste do Paraná concentram-se as médias mais baixas nos dados analisados.

As menores perdas hídricas (evapotranspiração) concentraram-se entre os meses de maio a agosto. Notou-se que no período sazonal de verão são as maiores perdas de água e, diferentemente da precipitação, praticamente não apresentam valores atípicos. Com os valores da precipitação e evapotranspiração, a quantidade da disponibilidade hídrica no solo na Região Sul do Brasil pode ser equacionado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955).

Em primeiro momento, foi realizado a análise hídrica da área de estudo com uma Capacidade de Armazenamento (CAD) de 50mm, 75mm, 100mm e 125mm, gerando os mapas resultantes. Analisando as resultantes da espacialização da Deficiência Hídrica (DEF) e Excedente Hídrico (EXC), a Região Sul do Brasil não apresentou deficiência hídrica nos meses de setembro a novembro e entre maio e junho e apenas 31,2% das estações em estudo demonstraram DEF.

O próximo passo foi a espacialização das semeaduras do Capim-Sudão BRS Estribo, em dois períodos, sendo a primeira etapa iniciando no mês de outubro e terminando no mês de março e, a segunda semeadura, nos meses entre dezembro à março. As deficiências excessos hídricos foram computados em solos com CAD de 50mm e 75mm, com a determinação da Evapotranspiração de Cultura do Capim-Sudão BRS Estribo.

O estudo proporcionou a visualização das áreas com excessos e deficiências hídricas, em toda a Região Sul do Brasil, em diferentes capacidades de água disponível no solo, nos doze meses do ano e para a cultura do Capim-Sudão BRS Estribo. Embora que os dados estejam entre 1976 até 2005, este estudo pode ser replicado para dados mais atualizados e para outras regiões.

Nos dois períodos de semeadura, a produção do Capim-Sudão BRS Estribo praticamente não apresentou regiões com deficiência hídrica, salvo em pequenas localidades na Região Metropolitana de Porto Alegre e no Sudoeste Rio-Grandense, permanecendo até os 4mm de perda hídrica.

Propõe-se como trabalhos futuros integrar, ao construtor de modelos do *Arc-Map*, um módulo de consulta a situação do balanço hídrico em cada estação, realizando

a busca pelo nome ou código da estação, retornando as médias de excedente e deficiência hídrica computadas no período de estudo.

Propõe-se também aplicar este estudo para outras culturas, em diferentes períodos de estudo, aplicando outros interpoladores e comparando com as resultantes deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABIEC. **Beef Report - Perfil da Pecuária no Brasil.** [S.I.: s.n.], 2020. Endereço: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- ALLEN, Richard G *et al.* Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. **Roma: FAO**, n. 0, 300pp. 2006.
- AMORIM NETO, M da S. Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955).
- Embrapa Semiárido-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1989., 1989.
- ANA. **Inventário das Estações Pluviométricas.** [S.I.]: Brasília: Agência Nacional de Águas, 2009. 495p. Endereço: <https://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/InventariodasEstacoesPluviometricas.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2020.
- ANDER-EGG, Ezequiel. **Introducción a las Técnicas de Investigación social para Trabajadores Sociales.** [S.I.], 1978.
- BARRETO, PN *et al.* Análise do balanço hídrico durante eventos extremos para áreas de floresta tropical de terra firme da Amazônia Oriental. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. [S.I.: s.n.], 2009.
- BASTOS, Rafael Lemos. **Métodos para Seleção de Modelos de Semivariograma em Campos Aleatórios Gaussianos.** 2017. 169p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária – Universidade Federal de Lavras, MG.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. rev. e ampl. **Viçosa: UFV, Imprensa Universitária**, 1995.
- CAMARGO, ÂNGELO PAES DE; CAMARGO, MARCELO BENTO PAES DE. Uma Revisão Analítica da Evapotranspiração Potencial. **Bragantia**, SciELO Brasil, v. 59, n. 2, p. 125–137, 2000.
- CAMARGO, AP de; PEREIRA, AR. Prescrição de rega por modelo climatológico. **Campinas: Fundação Cargill**, 1990.
- COUTINHO, Maytê Duarte Leal *et al.* Balanço hídrico mensal para dois municípios do estado da Paraíba. **Ciência e Natura**, Universidade Federal de Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 160–170, 2015.
- DA SILVA, Vicente de PR *et al.* Risco climático da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 2, 2013.

- DE SILVA, CS *et al.* Predicting the impacts of climate change—A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka. **Agricultural water management**, Elsevier, v. 93, n. 1-2, p. 19–29, 2007.
- DIGITAL, Diário. **Agricultura avança sobre a pecuária**. [S.I.: s.n.], 2019. Endereço: <https://www.diariodigital.com.br/economia/economia/186386/>. Acesso em: 11 mai. 2020.
- DOORENBOS, Jan. Guidelines for predicting crop water requirements. **Food and Agriculture organization. Rome, Irrig. Drainage pap.**, v. 24, 1975.
- EMBRAPA. Saiba Manejar o Novo Capim-Sudão BRS Estribo. **Revista do Produtor. Embrapa Pecuária Sul-Documentos (INFOTECA-E)**, Bagé: Embrapa Pecuária Sul, v. 6, n. 7, p. 18–19, 2014.
- FARIA, Roberto Araújo de *et al.* Demanda de irrigação suplementar para a cultura do milho no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 4, n. 1, p. 46–50, 2000.
- FERRARI, Alfonso Trujillo. **Metodologia da Ciência**. [S.I.]: Kennedy Editora, 1974.
- GERHARDT, TE; SILVEIRA, DT. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS.(Educação a Distância, 5). Recuperado em 23 fevereiro, 2017 de. [S.I.: s.n.], 2009.
- GONDIM, Rubens Sonsol *et al.* Balanço hídrico na bacia do Jaguaribe, Ceará, utilizando evapotranspiração de referência Penman-Monteith FAO estimada com dados mínimos. **Embrapa Informática Agropecuária-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010., 2010.
- GREGO, Célia Regina; OLIVEIRA, Ronaldo Pereira de; VIEIRA, Sidney Rosa. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. **Embrapa Territorial-Capítulo em livro científico (ALICE)**, In: BERNARDI, AC de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, AV de; BASSOI, LH; INAMASU . . ., 2014.
- HENGL, Tomislav. A Practical Guide to Geostatistical Mapping. Hengl Amsterdam, 2009.
- IBGE. **Geografia do Brasil. Região Sul**. [S.I.]: Rio de Janeiro: SERGRAF-IBGE, 1977. v. 5.
- JAKOB, Alberto Augusto Eichman. A krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos. **Anais do XIII Encontro Nacional de Estudos Popacionais**, p. 1–21, 2016.
- JOHNSTON, Kevin *et al.* **Using ArcGIS geostatistical analyst**. [S.I.]: Esri Redlands, 2001. v. 380.

- KALKHAN, Mohammed A. **Spatial statistics: geospatial information modeling and thematic mapping.** [S.I.]: CRC Press, 2011.
- KRISHNAN, A *et al.* Agroclimatic classification methods and their application to India. In: INTERNATIONAL Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics: Climatic classification: a consultants' meeting, 14-16 April 1980. [S.I.: s.n.], 1980. P. 59–88.
- LINDE, Klaus; WILLICH, Stefan N. How Objective are Systematic Reviews. Differences Between Reviews on Complementary Medicine. **Journal of the Royal Society of Medicine**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 96, n. 1, p. 17–22, 2003.
- LUCAS, Taíza Pinho Barroso *et al.* Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, 2014.
- MARCHEZINI, Amanda Rezzieri *et al.* Desempenho do Comércio Internacional da Carne Bovina Brasileira nos Anos 2000/Performance of The International Trade of Brazilian Beef in The Years 2000. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 12478–12501, 2019.
- MATHERON, G; HUIJBREGTS, C. Universal Kriging (an optimal method for estimating and contouring in trend surface analysis), decision making in the mineral industry. **CIM Special Volume**, n. 12, p. 159–169, 1971.
- MATZENAUER, Ronaldo; RADIN, Bernadete; MALUF, Jaime Ricardo Tavares. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, 2018.
- MAZZINI, PLF; SCHETTINI, Carlos Augusto França. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53–64, 2009.
- MCBRATNEY, AB; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Wiley Online Library, v. 37, n. 4, p. 617–639, 1986.
- MEDEIROS, Sérgio Raposo de. Valor Nutricional da Carne Bovina e Suas Implicações Para a Saúde Humana. **Embrapa Gado de Corte-Documentos (INFOTECA-E)**, In: SÉRIES Embrapa:[coletânea de publicações seriadas da Embrapa Gado de ...], 2008.
- MELLO, CR de; SILVA, AM da. Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. **Lavras: UFLA**, 2013.
- MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira *et al.* Análise espacial de dados geográficos. **Brasília: Embrapa**, 2004.
- MORAN, Patrick AP. Notes on continuous stochastic phenomena. **Biometrika**, JSTOR, v. 37, n. 1/2, p. 17–23, 1950.

- MOURA, Maria Francisca Canovas de. **Uso da sigla BRS na comercialização das cultivares de videira lançadas pela Embrapa.** [S.I.: s.n.], 2018. Endereço: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/36080705/uso-da-sigla-brs-na-commercializacao-das-cultivares-de-videira-lancadas-pela-embrapa>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- NAJAR, Alberto Lopes; MARQUES, Eduardo César. **Saúde e Espaço: Estudos Metodológicos e Técnicas de Análise.** [S.I.]: Editora Fiocruz, 1998.
- OJO, Oyediran. Potential Evapotranspiration and The Water Balance in West Africa. **Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B**, Springer, v. 17, n. 2-3, p. 239–260, 1969.
- OYANA, Tonny J. **Spatial Analysis with R: Statistics, Visualization, and Computational Methods.** [S.I.]: CRC Press, 2020.
- PATRONI, Luiz. **Soja invade área tradicionalmente destinada à pecuária em Soledade.** [S.I.: s.n.], 2013. Endereço: <https://www.canalrural.com.br/sites-e-especiais/soja-invade-area-tradicionalmente-destinada-pecuaria-rio-grande-sul-31615/>. Acesso em: 11 mai. 2020.
- PEREIRA, Antônio Roberto; SENTELHAS, Paulo César; ANGELOCCI, Luiz Roberto. Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas. Notas de Aula: USP - Departamento de Ciências Exatas, 2007.
- PEREZ, N. B.; SILVEIRA, M. C. T. da. Recuperação e melhoramento de pastagens na a região Sul do Brasil. **Embrapa Pecuária Sul-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**, Porto Alegre: Secretaria de Agricultura e Pecuária,[2015]., 2015.
- PIMENTEL, Carlos. A relação da planta com a água. **Seropédica: Edur**, 2004.
- PIRES, Allan Sampaio. **Espacialização do manejo do capim-sudão com base na soma térmica na região sul do Brasil.** 2020. Diss. (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Computação Aplicada – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé.
- REGERT, FC et al. Produção Intensiva de Carne Bovina em Pasto de Capim-Sudão Cultivar BRS Estribo: um Estudo de Caso. In: IN: JORNADA [DO] NÚCLEO DE ESTUDOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS DE ... EMBRAPA Pecuária Sul-Artigo em anais de congresso (ALICE). [S.I.: s.n.], 2015.
- REICHARDT, Klaus. **A água em sistemas agrícolas.** [S.I.]: Manole São Paulo, 1990.
- ROVANI, Franciele Francisca Marmentini; WOLLMANN, Cássio Arthur. **BALANÇO HÍDRICO DO CULTIVO DA NOGUEIRA PECÃ NOS ANOS PADRÃO HABITUAL, CHUVOSO E SECO PARA O RIO GRANDE DO SUL.** **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

- SANTOS, Gilmar Oliveira; HERNANDEZ, Fernando Braz Tangerino; ROSSETTI, José Carlos. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 4, n. 3, 2013.
- SANTOS, Jorge Luiz Sant'Anna dos; SILVA, Renata Wolf Martins da; TONINI, Helio. Relatório de Avaliação dos Impactos das Tecnologias Geradas pela Embrapa. Nome da tecnologia: Cultivar de capim-sudão BRS Estribo. **Embrapa Pecuária Sul**, Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2019., 2019.
- SANTOS, Maurício Moreira; CHANG, Maria Rita Caetano; KIANG, Chang Hung. Análise do balanço hídrico climatológico do sistema Aquífero Guarani, em sua área de afloramentos no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 10, n. 1, 2012.
- SEDIYAMA, Gilberto Chohaku *et al.* Zoneamento agroclimático do cafeiro (*Coffea arabica L.*) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 501–509, 2001.
- SHANER JEFF E WRIGHTSELL, Jennifer. **Editing in arcMap**. [S.I.]: Esri, 2000.
- SILVEIRA, MCT da; MONTARDO, DP; SANT'ANNA, DM. Pasto sobre pasto: estratégias de manejo para uso de mesclas forrageiras de inverno e verão visando melhor distribuição de forragem. **Embrapa Pecuária Sul-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2019., 2019.
- SILVEIRA, MCT da; SANT'ANNA, DM; MONTARDO, DP. Capim-sudão BRS Estribo: cultivar de capim-sudão para pastejo. **Embrapa Pecuária Sul-Fólder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, Bagé: Embrapa Pecuária Sul; Passo Fundo: Sulpasto, 2013., 2013.
- SILVEIRA, MCT da; SANT'ANNA, DM *et al.* Aspectos Relativos à Implantação e Manejo de Capim-Sudão BRS Estribo. **Embrapa Pecuária Sul-Documents (INFOTECA-E)**, Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2015., 2015.
- SMITH, M1 *et al.* Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements, 1991.
- SOUZA, EF. **Modelo computacional aplicado ao manejo e planejamento da irrigação**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1993. 65p. 1993. Tese (Doutorado) – Dissertação Mestrado.
- STEIN, Alfred; VAN DER MEER, Freek D; GORTE, Ben. **Spatial Statistics for Remote Sensing**. [S.I.]: Springer Science & Business Media, 2006. v. 1.
- STEIN, Michael L. **Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging**. [S.I.]: Springer Science & Business Media, 2012.

- SZENTIMREY, Tamás; BIHARI, Zita; SZALAI, Sándor. Comparison of geostatistical and meteorological interpolation methods (what is what?) **Spatial interpolation for climate data: the use of GIS in climatology and meteorology**, Wiley Online Library, p. 45–56, 2007.
- THORNTHWAITE, Charles Warren. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. **Geographical review**, JSTOR, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948.
- THORNTHWAITE, CW; MATHER, JR. Publications in Climatology. **The water balance**, v. 8, p. 1–104, 1955.
- THORNTHWAITE CW E MATHER, JR. The Water Balance. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. **Publications in Climatology**, 1955.
- TOMASELLA, JTG; ROSSATO, L. Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas—Balanço Hídrico. **INPE, São José dos Campos**, 2005.
- TOMS, Silas. **ArcPy and ArcGIS—Geospatial Analysis with Python**. [S.I.]: Packt Publishing Ltd, 2015.
- UNITED NATIONS, Department of Economic; SOCIAL AFFAIRS, Population Division. **World Population Prospects 2019: Highlights**. [S.I.: s.n.], 2019.
- WREGE, Marcos Silveira *et al.* **Atlas Climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. [S.I.]: Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012., 2012.
- WUTKE, EB *et al.* Propriedades do Solo e Sistema Radicular do Feijoeiro Irrigado em Rotação de Culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 24, n. 3, p. 621–633, 2000.
- YAMAMOTO JORGE KAZUO E LANDIM, Paulo M Barbosa. **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. [S.I.]: Oficina de Textos, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TABELAS DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO EM ALGUMAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

TABELA 7 – Extrato do BHC da cidade de Bagé/RS (mm)

Mês	ETP	P	P-ETP	NEG ACUM	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Julho	28	131	103	0	50	0	28	0	103
Agosto	39	103	64	0	50	0	39	0	64
Setembro	45	121	76	0	50	0	45	0	76
Outubro	58	134	76	0	50	0	58	0	76
Novembro	90	112	22	0	50	0	90	0	22
Dezembro	121	93	-28	-28	29	-21	115	6	0
Janeiro	132	112	-20	-48	19	-10	121	11	0
Fevereiro	107	105	-2	-50	18	-1	106	1	0
Março	97	117	20	-13	38	20	97	0	0
Abril	62	147	85	0	50	12	62	0	73
Maio	40	119	79	0	50	0	40	0	79
Junho	28	112	84	0	50	0	28	0	84
Total	847	1405	558		505	0	829	18	576
Média	130	216	86		78	0	127	3	89

TABELA 8 – Extrato do BHC da cidade de Londrina/PR (mm)

Mês	ETP	P	P-ETP	NEG ACUM	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Julho	44	61	17	0	50	0	44	0	17
Agosto	61	55	-6	-6	45	-5	61	0	0
Setembro	65	130	65	0	50	5	65	0	60
Outubro	84	145	61	0	50	0	84	0	61
Novembro	101	173	72	0	50	0	101	0	72
Dezembro	126	223	97	0	50	0	126	0	97
Janeiro	127	205	78	0	50	0	127	0	78
Fevereiro	111	202	91	0	50	0	111	0	91
Março	109	154	45	0	50	0	109	0	45
Abril	82	123	41	0	50	0	82	0	41
Maio	57	117	60	0	50	0	57	0	60
Junho	43	110	67	0	50	0	43	0	67
Total	1010	1698	688		595	0	1010	0	688
Média	155	261	106		91	0	155	0	106

TABELA 9 – Extrato do BHC da cidade de Uruguaiana/RS (mm)

Mês	ETP	P	P-ETP	NEG ACUM	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Julho	29	79	50	0	50	0	29	0	50
Agosto	40	69	29	0	50	0	40	0	29
Setembro	50	105	55	0	50	0	50	0	55
Outubro	65	131	66	0	50	0	65	0	66
Novembro	103	129	26	0	50	0	103	0	26
Dezembro	140	104	-36	-36	24	-26	130	10	0
Janeiro	152	133	-19	-55	17	-8	141	11	0
Fevereiro	118	132	14	-25	30	14	118	0	0
Março	108	131	23	0	50	20	108	0	3
Abril	67	175	108	0	50	0	67	0	108
Maio	44	112	68	0	50	0	44	0	68
Junho	29	77	48	0	50	0	29	0	48
Total	945	1376	431		521	0	924	21	452
Média	145	212	66		80	0	142	3	70

TABELA 10 – Extrato do BHC da cidade de Paranaguá/PR (mm)

Mês	ETP	P	P-ETP	NEG ACUM	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Julho	45	195	150	0	50	0	45	0	150
Agosto	52	166	114	0	50	0	52	0	114
Setembro	57	304	247	0	50	0	57	0	247
Outubro	69	375	306	0	50	0	69	0	306
Novembro	101	313	212	0	50	0	101	0	212
Dezembro	129	375	246	0	50	0	129	0	246
Janeiro	140	430	290	0	50	0	140	0	290
Fevereiro	122	326	204	0	50	0	122	0	204
Março	118	383	265	0	50	0	118	0	265
Abril	89	244	155	0	50	0	89	0	155
Maio	63	219	156	0	50	0	63	0	156
Junho	46	173	127	0	50	0	46	0	127
Total	1031	3503	2472		600	0	1031	0	2472
Média	159	539	380		92	0	159	0	380

TABELA 11 – Extrato do BHC da cidade de São Joaquim/PR (mm)

Mês	ETP	P	P-ETP	NEG ACUM	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Julho	31	115	84	0	50	0	31	0	84
Agosto	39	195	156	0	50	0	39	0	156
Setembro	44	212	168	0	50	0	44	0	168
Outubro	49	163	114	0	50	0	49	0	114
Novembro	68	123	55	0	50	0	68	0	55
Dezembro	85	134	49	0	50	0	85	0	49
Janeiro	89	178	89	0	50	0	89	0	89
Fevereiro	77	194	117	0	50	0	77	0	117
Março	73	148	75	0	50	0	73	0	75
Abril	52	96	44	0	50	0	52	0	44
Maio	39	83	44	0	50	0	39	0	44
Junho	30	131	101	0	50	0	30	0	101
Total	676	1771	1095		600	0	676	0	1095
Média	104	272	168		92	0	104	0	168

APÊNDICE B – SCRIPTY EM PYTHON PARA O FLUXOGRAMA DE ESPECIALIZAÇÃO DAS MÉDIAS MENSAIS

```

# Importanto a biblioteca arcpy
import arcpy

arcpy.CheckOutExtension("spatial")

# Argumentos
medias_prec_ou_etp = arcpy.GetParameterAsText(0)
if medias_prec_ou_etp == '#' or not medias_prec_ou_etp:
    medias_prec_ou_etp = "C:\\\\Users\\\\gleds\\\\Documents\\\\ArcGIS\\\\medias_estacoes.xlsx\\\\medias$"

Estacoes_de_Monitoramento = arcpy.GetParameterAsText(1)
if Estacoes_de_Monitoramento == '#' or not Estacoes_de_Monitoramento:
    Estacoes_de_Monitoramento = "C:\\\\Users\\\\gleds\\\\Documents\\\\ArcGIS\\\\
                                coordenadas_estacoes.xlsx\\\\'BHC CAD 50$'"

Regiao_Sul_do_Brasil = arcpy.GetParameterAsText(2)
if Regiao_Sul_do_Brasil == '#' or not Regiao_Sul_do_Brasil:
    Regiao_Sul_do_Brasil = "C:\\\\Users\\\\gleds\\\\Documents\\\\ArcGIS\\\\Região_Sul_Brasil.shp"

# Variáveis Locais:
Shapefile_estacoes = Estacoes_de_Monitoramento
medias_com_shapefile = Shapefile_estacoes
resultante_espacializacao = medias_com_shapefile
espacializacao_RS = resultante_espacializacao
variancia_raster = medias_com_shapefile

# Processo: Criar Shapefile das Estações de monitoramento
arcpy.MakeXYEventLayer_management(Estacoes_de_Monitoramento, "LAT_SUL", "LONG_OESTE",
                                  Shapefile_estacoes, "", "")

# Processo: Unir as médias mensais de precipitação ou evapotranspiração com o shapefile
# das estações de monitoramento
arcpy.JoinField_management(Shapefile_estacoes, "ID_NUM", Medias_mensais_de_prec_ou_etp,
                           "ID_NUM", "ETP_7;P_7")

```

```
# Processo: Realizar a interpolação das médias mensais de precipitação ou
# evapotranspiração com krigagem
arcpy.gp.Kriging_sa(medias_com_shapefile, "ETP_7", resultante_espacializacao,
"Spherical 0,036667", "3,6666666666664E-02", "VARIABLE 12", variancia_raster)

# Processo: Extrair por Contorno da Região Sul do Brasil
arcpy.gp.ExtractByMask_sa(resultante_espacializacao, Regiao_Sul_do_Brasil, espacializacao_RS)
```

APÊNDICE C – SCRIPTY EM PYTHON PARA O CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

```

import sys
import pandas as pd
import numpy as np
from pandas import DataFrame
import funcoes_calculo_bh as fn

#variável prec recebe a planilha com as médias de precipitação
#variável etp recebe a planilha com as médias de evapotranspiração
prec = pd.read_excel('C:/Users/gleds/Documents/ArcGIS/tabelas_bh/prec.xlsx')
etp = pd.read_excel('C:/Users/gleds/Documents/ArcGIS/tabelas_bh/etp.xlsx')

ARM = int(input('Digite um valor de CAD (50 ou 75 ou 100 ou 125 ou 150): '))
if (ARM != 50) and (ARM != 75) and (ARM != 100) and (ARM != 125) and (ARM != 150):
    print('Valor de CAD errado!')
    sys.exit()

#variável P: valor da precipitação
#variável ETP: valor da evapotranspiração
#variável P_ETP :valor de precipitação menos a evapotranspiração
#variável ARM: valor da CAD, capacidade de armazenamento
#variável NEG_ACUM: valor do negativo acumulado
#variável ALT: valor da alteração do armazenamento

#cria a tabela com todas as variáveis para o cálculo
fn.criar_tabela_bh(prec, etp)

mes_atual = 1
while mes_atual <= 12:
    for i in range(len(bh.P_ETP_mes_atual)):
        bh.P_ETP_mes_atual[i] = bh.P_mes_atual[i] - bh.ETP_mes_atual[i]

    for i in range(len(bh.ARM_mes_atual)):
        bh.ARM_mes_atual[i] = ARM*np.exp(bh.NEG_ACUM_mes_atual[i]/ARM)

```

```

for i in range(len(bh.NEG_ACUM_mes_atual)):
    if (bh.P_ETP_mes_anterior[i] > 0) and (bh.P_ETP_mes_atual[i] < 0):
        bh.NEG_ACUM_mes_atual[i] = bh.P_ETP_mes_atual[i]
        bh.ARM_mes_atual[i] = ARM*np.exp(bh.NEG_ACUM_mes_atual[i]/ARM)
    elif ((bh.P_ETP_mes_anterior[i] < 0) and (bh.P_ETP_mes_atual[i] < 0)):
        bh.NEG_ACUM_mes_atual[i] = bh.P_ETP_mes_anterior[i] + bh.P_ETP_mes_atual[i]
        bh.ARM_mes_atual[i] = ARM*np.exp(bh.NEG_ACUM_mes_atual[i]/ARM)
    elif (bh.P_ETP_mes_atual[i] > 0) and (bh.P_ETP_mes_atual[i] < 0):
        bh.ARM_mes_atual[i] = bh.P_ETP_mes_atual[i] + bh.ARM_mes_atual[i]
        if bh.ARM_mes_atual[i] > ARM: bh.ARM_mes_atual[i] = ARM
        bh.NEG_ACUM_mes_atual[i] = ARM*(np.long(bh.ARM_mes_atual[i]/ARM))
    if bh.NEG_ACUM_mes_atual[i] < 0: bh.NEG_ACUM_mes_atual[i] = 0

for i in range(len(bh.ALT_mes_atual)):
    bh.ALT_mes_atual[i] = bh.ARM_mes_atual[i] - bh.ARM_mes_anterior[i]

for i in range(len(bh.ETR_mes_atual)):
    if bh.P_ETP_mes_atual[i] >= 0:
        bh.ETR_mes_atual[i] = bh.ETP_mes_atual[i]
    elif bh.ALT_mes_atual[i] <= 0:
        bh.ETR_mes_atual[i] = bh.P_mes_atual[i] + np.absolute(bh.ALT_mes_atual[i])

for i in range(len(bh.DEF_mes_atual)):
    bh.DEF_mes_atual[i] = bh.ETP_mes_atual[i] - bh.ETR_mes_atual[i]

for i in range(len(bh.EXC_mes_atual)):
    if bh.ARM_mes_atual[i] < ARM:
        bh.EXC_mes_atual[i] = 0
    elif bh.ARM_mes_atual[i] == ARM:
        bh.EXC_mes_atual[i] = bh.P_ETP_mes_atual[i] - bh.ALT_mes_atual[i]
#define qual o mês atual
fn.definir_mes_atual(mes_atual, bh)

#cria a planilha, em xls, com as deficiências e excessos hídricos
fn.criar_planilha(bh, ARM)

```

ANEXOS

ANEXO A – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL USADAS NESTE ESTUDO

TABELA 12 – Localização das estações de monitoramento na Região Sul do Brasil usadas neste estudo

UF	Município	E斯塔ção	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE	UF	Município	E斯塔ção	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE
SP	IGARAPAVA	USINA JUNQUEIRA (SEDE)	-20.033533333	-47.733533333	SP	SANTA CRUZ DO RIO PARD	SODRÉLIA	-22.95	-49.533333333
SP	PINDORAMA	ESTAÇÃO EXPERIMENTAL	-21.216666667	-48.9	SP	PIRAÇAIA	CANTAREIRA	-22.966944444	-46.394166667
SP	LAVINIA	TABAJARA	-21.283333333	-51.133333333	SP	QUERÊNCIA DO NORTE	ICATU	-22.974722222	-53.983333333
SP	AFARAQUARA	FAZENDA PALMEIRAS	-21.864444444	-48.281666667	SP	GUARATINGUETÁ	FAZENDINHA	-22.983333333	-45.833333333
SP	MARTINÓPOLIS	USINA LARANJA DOCE	-22.22.266666667	-51.166666667	SP	OURINHOS	FAZENDA LAJEADINHO	-22.999722222	-49.833333333
SP	PIRAPOZINHO	PIRAPOZINHO	-22.3	-51.5	PR	CAMBARÁ	CAMBARÁ	-23.041944444	-50.07
SP	MIRANTE DO PARANAPANEMA	CUJABÁ PAULISTA	-22.316666667	-52.083333333	SP	CHAVANTES	FAZENDA MARCONDINHA	-23.05	-49.766666667
SP	TEODORO SAMPAIO	FAZENDA GUANA	-22.333333333	-51.416666667	PR	QUERÊNCIA DO NORTE	QUERÊNCIA DO NORTE	-23.081666667	-53.481111111
PR	CLANORTE	CIANORTE	-22.366666667	-52.316666667	PR	PARANAVAI	PARANAVAI	-23.083333333	-52.333333333
SP	TEODORO SAMPAIO	BARRIO SANTA IDA	-22.386333333	-51.283333333	PR	ANDIRÁ	ANDIRÁ	-23.086111111	-50.286111111
SP	TAZIBA	TAZIBA	-22.416666667	-51.166666667	SP	AVARÉ	AVARÉ	-48.916666667	-48.916666667
SP	MARTINÓPOLIS	FAZENDA FORMOSA	-22.416666667	-51.516666667	SP	LAGOINHA	FAXINAL	-23.116666667	-45.2
SP	NARANDIBA	NARANDIBA	-22.433333333	-50.997222222	SP	SANTA MARIANA	UHE CAPIVARA PORTO SANTA TEREZINHA	-23.126811111	-50.459722222
SP	RANCHARIA	TRONCAO RANCHARIA	-22.466666667	-52.883333333	SP	MACUCO	MACUCO	-23.15	-49.183333333
SP	TEODORO SAMPAIO	FAZENDA ITAOPA	-22.516666667	-51.833333333	PR	TIMBURI	TIMBURI	-23.2	-49.166666667
SP	ESTRELA DO NORTE	BARRIO GUARUJA	-22.516666667	-51.816666667	PR	JATAIZINHO	JATAIZINHO	-23.258333333	-50.984444444
SP	SANDOVALINA	FAZENDA VISTA BONITA	-22.516666667	-51.526666667	PR	IBIPORÁ	IBIPORÁ	-23.266666667	-51.016666667
SP	TEODORO SAMPAIO	TEODORO SAMPAIO	-22.544166667	-52.027222222	SP	NAZARÉ PAULISTA	MORRO GRANDE	-23.283333333	-46.416666667
SP	MIRANTE DO PARANAPANEMA	MIRANTE DO PARANAPANEMA	-22.55	-52.583333333	PR	BOITUVA	BOITUVA	-23.316666667	-47.266666667
SP	TEODORO SAMPAIO	EUCLIDES DA CUNHA	-22.566666667	-52.416666667	SP	LONDrina	LONDrina	-51.133333333	-51.133333333
SP	TEODORO SAMPAIO	FAZENDA ROSANELA	-22.566666667	-51.133333333	SP	TEJUPÁ	TEJUPÁ	-23.383333333	-49.366666667
SP	IEPÉ	JAGUARÉTE	-22.566666667	-50.783333333	SP	FARTURA	FARTURA	-23.416666667	-49.516666667
SP	PARAGUAÇU PAULISTA	SÃO MATEUS	-22.583333333	-49.816666667	PR	ITAI	ITAI	-23.433333333	-49.1
SP	SÃO PEDRO DO TURVO	AREIA BRANCA	-22.583333333	-52.816666667	PR	CORBÉLIA	USINA MELISSA	-52.8	-52.8
SP	TEODORO SAMPAIO	FAZENDA NOVA DO PONTAL	-22.583333333	-53.066666667	PR	TAGUAÍ	TAGUAÍ (RIBEIROFÓLIS)	-23.47777745	-49.416666667
SP	PLATINA	ROSANA	-22.583333333	-53.066666667	PR	LONDrina	VILA GRANDE	-23.47777745	-50.336944444
SP	MAFACAI	ITOHORÓ DO PARANAPANEMA	-22.616666667	-51.733333333	PR	APICARANA	APICARANA (FAZENDA UBATUBA)	-23.5	-51.133333333
SP	IEPÉ	NANTES	-22.616666667	-51.25	PR	JOAQUIM TÁVORA MTE	JOAQUIM TÁVORA MTE	-23.5	-49.866666667
SP	ASSIS	ASSIS (PORTO FLORESTAL - EFS)	-22.633333333	-49.816666667	PR	TAQUARI TUBA	TAQUARI TUBA	-23.593333333	-49.233333333
SP	RANCHARIA	GARDENIA	-22.633333333	-50.9	PR	ASSIS CHATEAUBRIAND	USINA ASSIS CHATEAUBRIAND	-23.583333333	-52.483333333
SP	PLATINA	PLATINA	-22.633333333	-50.2	SP	BARÃO DE ANTÔNINA	BARÃO DE ANTÔNINA	-23.633333333	-49.55
SP	IBAPACAI	BAIRRO ÁGUA DO MATÃO	-22.666666667	-51.083333333	SP	CORONEL MACEDO	CORONEL MACEDO	-23.65	-49.316666667
SP	IEPÉ	IEPE	-22.666666667	-50.483333333	SP	SARAPUÍ	SARAPUÍ	-23.65	-49.133333333
SP	ASSIS	AGUA DA FORTUNA	-22.683333333	-50.4	SP	ITAPORANGA	ITAPORANGA	-23.7	-49.483333333
SP	IEPÉ	CAPISA	-22.716666667	-51.133333333	SP	SÃO JERÔNIMO DA SERRA	SÃO JERÔNIMO DA SERRA	-23.7	-49.533333333
SP	SP	CAPORANGA	-22.716666667	-49.566666667	PR	ITABERA	ITABERA DO SUL	-23.75	-49.266666667
SP	SP	SÃO PEDRO DO TURVO	-22.75	-49.733333333	PR	UMUARAMA	UMUARAMA - Jardim Kennedy	-23.768888889	-53.121111111
SP	SP	PALMITAL	-22.783333333	-50.216666667	PR	MARILÂNDIA DO SUL (ARARUVA)	RIBEIRÃO DO SUL	-23.826944444	-51.266388889
SP	SP	RIBEIRÃO DO SUL	-22.783333333	-49.933333333	SP	TAQUARI TUBA	TAQUARI TUBA	-23.833333333	-49.433333333
SP	SP	IBAREMA	-22.816666667	-50.066666667	PR	ALTO NÍVEL	ALTO NÍVEL	-23.85	-53.983305556
SP	SP	FAZENDA REÚNDIAS SANTA ROSA	-22.883333333	-50.333333333	PR	FIGUEIRAS	FIGUEIRAS	-23.85027778	-50.591111111
SP	SP	USINA PARRI	-22.883333333	-50.733333333	PR	ITABERA	ITABERA	-23.866666667	-49.133333333
SP	SP	PORTO FLORIDA	-22.9	-50.733333333	PR	TUNEIRAS DO OESTE	TUNEIRAS DO OESTE	-23.866666667	-52.863333333
SP	SP	FLORINA	-22.9	-49.616666667	PR	FENIX	VILA RICA	-23.9	-51.951111111
SP	SP	SANTA CRUZ DO RIO PARD	-22.9	-49.997222222	SP	ITARARÉ	ITARARÉ	-23.95	-49.366666667
SP	SP	SALTO GRANDE	-22.9	-48.983333333	SP	IBIUNA	CACHOEIRA DO FRANÇA	-23.95	-47.216666667
SP	SP	AVARE	-22.95	-51.2	PR	ITAPEVA	ITAPEVA	-23.95	-48.863333333
PR	PR	FLORIDA	-22.95	-49.383333333	PR	MOREIRA SALES	MOREIRA SALES	-23.966666667	-53.9
SP	SP	OLEO	-22.95	-49.533333333	SP	TAPIRAÍ	TAPIRAÍ	-23.966666667	-47.5

UF	Município	Estação	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE	UF	Município	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE	Estação	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE
PR	IPORÃ	IPORÃ	-23,96444444	-53,7525	SP	RIBEIRA	-24,56666667	-48,95	GRTIDOR	-49,16666667	-49,16666667
PR	MARILUZ	MARILUZ	-23,98305556	-53,16666667	SP	ITAPIRAPUÁ PAULISTA	-24,56666667	-49,16666667	ITAPIRAPUÁ	-51,15305556	-51,15305556
PR	ALTO PIQUIRÌ	ALTO PIQUIRÌ	-24,01472222	-53,43972222	PR	BARRA BONITA,	-24,56444444	-49,16666667	RESERVA	-52,80416667	-52,80416667
SP	ITAPEVA	USINA SANTA MARIA	-24,01666667	-48,71666667	PR	CAMPINA DA LAGOA	-24,59872222	-47,88333333	CAMPINA DA LAGOA	-52,26666667	-52,26666667
PR	AFAPOTI	CARATUVA	-24,03333333	-50,08333333	SP	PARIQUERA-AÇU	-24,6	-47,88333333	LARANJEIRAS DO SUL	-51,58333333	-51,58333333
SP	TAPIRÁ	CABEÇA DA ANTA	-24,05444444	-47,58333333	PR	ELDORADO	-24,6	-47,88333333	OIRO LEVE	-24,6	-48,3
SP	ITABERAÍ	ENGENHEIRO MAIA	-24,08333333	-48,20861111	PR	RONCADOR	-24,6	-47,88333333	PARIQUERA-AÇU	-24,61666667	-52,56666667
PR	LAPA	SÃO BENTO	-24,13233333	-52,76666667	SP	ELDORADO	-24,63333333	-48,28333333	BARRA DO BRAÇO	-24,63333333	-48,28333333
PR	GUAIARA	JANIÓPOLIS	-24,13233333	-48,96666667	SP	DESCALVADO	-24,65	-48,65	DESCALVADO	-24,65	-48,65
SP	ITAPEVA	USINA SÃO JOSÉ	-24,13233333	-47,28333333	SP	RIBEIRA	-24,65	-48,99972222	RIBEIRA	-24,65555556	-48,99972222
SP	MIRACATU	PEDRA DO LARGO	-24,18333333	-48,5	PR	ADRIANÓPOLIS	-24,66666667	-48,33333333	CAPELA DA RIBEIRA	-24,66666667	-52,56666667
SP	GUAPIARA	BAIRRO DO PINHEIRO	-24,25	-51,65	PR	NOVA CANTU	-24,66666667	-48,00138889	NOVA CANTU	-24,66666667	-52,56666667
PR	IVAIOPRÁ	FAZENDA PETTENA	-24,26666667	-47,4	PR	NOVA CANTU	-24,68444444	-48,00138889	JACUPIRANGA	-24,68444444	-48,00138889
SP	MIRACATU	FAZENDA SÃO NICOLAU	-24,26666667	-49,16666667	SP	ENTRE RIOS DO OESTE	-24,6925	-54,2325	ENTRE RIOS DO OESTE	-24,7	-47,56666667
SP	ITARARÉ	GUANHANHÁ	-24,26666667	-47,16666667	PR	GUAPE	-24,7	-47,66666667	GUAPE	-24,71666667	-48,33333333
SP	ITARIRI	PINARA	-24,26666667	-53,31666667	SP	IGUAPE	-24,7	-47,66666667	IGUAPE	-24,71666667	-48,33333333
SP	RIBEIRÃO BRANCO	FORMOSA DO OESTE	-24,28305556	-52,51666667	SP	ELDORADO	-24,71666667	-48,33333333	BARRA DO AREADO	-24,71666667	-48,33333333
PR	FORMOSA DO OESTE	MAMBORÉ	-24,28305556	-47,23333333	PR	TOLEDO	-24,71666667	-48,33333333	NOVA CONÓCIA	-24,71666667	-48,33333333
PR	PEDRO DE TOLEDO	PEDRO DE TOLEDO	-24,28333333	-47,17222222	SP	PARIQUERA-AÇU	-24,71666667	-48,33333333	PARIQUERA-AÇU	-24,71666667	-48,33333333
SP	ITARIRI	ITARIRI	-24,28888889	-53,911666667	SP	CAJATI	-24,71666667	-48,11666667	SERRANA DO SUL	-24,71666667	-48,11666667
PR	PALOTINA	PALOTINA	-24,3	-53,911666667	PR	PITANGA	-24,75	-51,76666667	PITANGA	-24,75777778	-48,50355556
PR	PALOTINA	BAIRRO GREJINHA	-24,33333333	-53,911666667	PR	BARRA DO TURVO	-24,75777778	-48,50355556	BARRA DO TURVO_Centro	-24,78333333	-48,18333333
SP	ITARIRI	TELEMACO BORBA	-24,33333333	-50,61666667	SP	CAJATI	-24,8	-53,8	ALTAMIRA DO PARANÁ	-24,8	-53,8
PR	TELÊMACO BORBA	PORTO ESPANHOL	-24,34444444	-51,42388889	PR	CASCABEL	-24,8	-53,8	CASCABEL	-24,8	-53,8
PR	GRANDES RIOS	ESCALVADO	-24,35	-52,1	PR	JACUPIRANGA	-24,8	-53,8	CANHÃA	-24,8	-53,8
SP	JUQUÁ	SANTA CLARA	-24,36277778	-50,03444444	PR	CORBELIA	-24,8	-53,8	CORBELIA	-24,81666667	-49,25
PR	GUARAPUAVA	DIVISOR	-24,36666667	-47,31666667	PR	CERRO AZUL	-24,8	-53,8	CERRO AZUL	-24,81666667	-49,25
SP	IGUAPE	SALTO DO CEDRO	-24,36666667	-47,55	SP	IGUAPE	-24,8	-53,8	SUBAUMA	-24,88305556	-49,25
SP	JUQUÁ	UHE FOZ CHOPIM - (Ex. Julio Mesquita)	-24,4	-52,91166667	PR	CAMPÔO BONITO	-24,8	-53,8	PONTE TOURINHO - BRAGANÉY	-24,88305556	-49,25
PR	CRUIZEIRO DO IGUAÇU	IRETAMA	-24,41666667	-52,1	PR	CASCABEL	-24,8	-53,8	CASCABEL	-24,88333333	-49,25
PR	IRETAMA	ARACABA (CAPOEIRAS)	-24,43233333	-48,85	SP	JACUPIRANGA	-24,8	-53,8	SALTO GRANDE DO GUARAU	-24,88333333	-49,25
SP	APIAJÁ	CABCLOS	-24,43233333	-48,58333333	PR	PALMITOS	-24,8	-53,8	PALMITOS	-24,88444444	-49,25
SP	APIAJÁ	BARRA DO CHAPÉU_Centro	-24,47277778	-49,02527778	SP	ILHA COMPRIDA	-24,9	-53,8	PEDRINHAS	-24,93333333	-49,25
SP	APIAJÁ	CACHOEIRA DO GUILHERME	-24,48333333	-47,25	PR	CASCABEL	-24,9	-53,8	CASCABEL	-24,93333333	-49,25
RS	ELDORADO	PEDRO CUBAS	-24,48333333	-48,3	SP	CANANÉIA	-24,96666667	-47,95	ITAPITANGUI	-24,96666667	-47,95
PR	MAPECHAI CÂNDIDO RONDON	UHE ITAIPU PORTO MENDES GONÇALVES	-24,49388889	-54,30944444	SP	CANANÉIA	-25,06866667	-47,95	PORTO CLIBATÃO	-24,96666667	-47,95
SP	REGISTRO	JURUMIRIM	-24,5	-47,73333333	SP	BARRA DO TURVO	-25,06866667	-47,95	RIO PARDINHO	-25,06866667	-47,95
SP	CAVERNOSES I RESERV.	MONT.	-24,51666667	-51,78116667	SP	CANANÉIA	-25,06866667	-47,95	PASSO NOVA ERECHIM	-25,06866667	-47,95
SP	APIAJÁ	APIAJÁ	-24,51666667	-48,85	SP	CANANÉIA	-25,1	-47,95	MORRO REDONDO	-25,1	-47,95
PR	MANOEL RIBAS	ELDORADO	-24,51666667	-51,66666667	PR	MARQUINHO	-25,1	-47,95	TACURUCA	-25,1	-47,95
SP	ELDORADO	SITIO GRANDE	-24,51694444	-48,1	PR	GUARAPUAVA	-25,10166667	-51,80388889	CAMPINA DO SIMAÕ	-25,13205556	-53,8
SP	IGUAPE	UBIRATÁ	-24,53333333	-47,53333333	PR	CÉU AZUL	-25,13305556	-53,8	CÉU AZUL	-25,13305556	-53,8
PR	UBIRATÁ	BARRA DOS PILÓES	-24,53333333	-52,98333333	PR	PONTA GROSSA	-25,13333333	-53,8	PRAIA GRANDE	-25,16872222	-50,15
SP	IPORANGA	MARECHAL CÂNDIDO RONDON	-24,55	-48,43333333	PR	CAMPINA GRANDE DO SUL	-25,16872222	-50,15	SÃO MIGUEL DO IGUAÇU	-25,18333333	-54,13333333
PR	MARECHAL CÂNDIDO RONDON	VEU DE NOVA	-24,55	-54,06666667	PR	IGUAÇU	-25,2	-50,8	GUAMIRANGA	-25,2	-50,8
PR	MORRETES	VEU DE NOVA	-25,26	-48,57	PR	GUARAPUAVA	-25,2	-50,8	GUAMIRANGA	-25,2	-50,8

UF	Município	Estação	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE	UF	Município	Estação	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE
PR	PRUDENTÓPOLIS	RIO DOS PATOS	-25,20527778	-50,94277778	PR	BITURUNA	COLÔNIA AUGUSTO LOUREIRO	-26,19055556	-51,29777778
SP	CANANEIA	ARIRI	-25,21666667	-48,21666667	SC	PALHOÇA	TERESÓPOLIS (QUECABA)	-49,28911111	-48,46
PR	PONTA GROSSA	PONTA GROSSA - VILA VELHA	-25,21666667	-50,01666667	SC	MAFRA	RIO PRETO DO SUL	-26,21555556	-49,60361111
PR	ANTONINA	COLONIA DO CACHOEIRA	-25,23333333	-48,75	SC	JOINVILLE	PRIMEIRO SALTO DO CUBATÃO	-26,21583333	-49,08055556
PR	MATELANDIA	MATELANDIA	-25,24	-53,97527778	PR	UNIÃO DA VITÓRIA	UNIÃO DA VITÓRIA	-26,22805556	-51,08027778
PR	GUARAJUÇABÁ	GUARAJUÇABÁ	-25,26666667	-48,3	SC	DIONÍSIO CERQUEIRA	DIONÍSIO CERQUEIRA	-26,28916667	-53,6275
PR	PALMEIRA	USINA MANOEL RIBAS	-25,31666667	-50	PR	CLEVELÂNDIA	SALTO CLAUDELINO	-26,27805556	-52,29611111
PR	SÃO MIGUEL DO IGUAÇU	SÃO MIGUEL DO IGUAÇU	-25,34583333	-54,24416667	SC	JOINVILLE	JOINVILLE_Costa e Silva	-26,27888889	-48,865
PR	GUARAPUAVA	GUARAPUAVA - COLEGIO AGRICOLA	-25,36472222	-51	SC	ITAÍOPOLIS	ITAÍOPOLIS	-26,33272222	-49,927778
PR	TEIXEIRA SOARES	TEIXEIRA SOARES	-25,36666667	-50,46666667	SC	RIO NATA (RVPS)	RIO NATA (RVPS)	-26,33333333	-49,3
PR	LARANJEIRAS DO SUL	LARANJEIRAS DO SUL	-25,4	-52,41666667	SC	PALMA SOLA	PALMA SOLA	-26,34555556	-53,27186667
PR	SERRANOPOLIS DO IGUAÇU	JARDINÓPOLIS	-25,41333333	-54,03722222	PR	MARIÓPOLIS	MARIÓPOLIS	-26,35	-52,56666667
PR	PIRAQUARA	PIRAQUARA - FACULDADE DE AGRONOMIA UFP	-25,43333333	-49,13333333	SC	PASSO SUCORRO (SC)	PASSO SUCORRO (SC)	-26,35	-52,1
PR	ANTONINA	ANTONINA	-25,43333333	-48,76666667	SC	CANOINHAS	PINHEIROS	-26,35138889	-50,64555556
PR	CURITIBA	CURITIBA	-25,43333333	-49,26666667	SC	MAJOR VIEIRA	SALTO CANOINHAS	-26,37055556	-50,29083333
PR	QUEDAS DO IGUAÇU	QUEDAS DO IGUAÇU (CAMPO NOVO)	-25,44833333	-48,44444444	SC	IRINEÓPOLIS	SANTA CRUZ DO TIBIÓ	-26,38888889	-50,87333333
PR	ITAQUI - SANTA CECILIA	ITAQUI - SANTA CECILIA	-25,46222222	-49,57027778	PR	JANGADA DO SUL	JANGADA DO SUL	-26,38694444	-51,21944444
PR	MANANCIAS DA SERRA	MANANCIAS DA SERRA	-25,4925	-48,99888889	SC	SÃO LOURENÇO DO OESTE	SÃO LOURENÇO DO OESTE	-26,40207778	-52,85555556
PR	MORRETES (EST.EXP.FRUTAS TROP)	MORRETES (EST.EXP.FRUTAS TROP)	-25,5	-48,81666667	PR	CLEVELÂNDIA	CLEVELÂNDIA	-26,41666667	-52,35
PR	RIO JARAGUÁ	RIO JARAGUÁ	-25,50555556	-48,9125	SC	RIO NEGRINHO	CORREDERA	-26,41944444	-49,57305556
SC	MORRETES	MORRETES	-25,51361111	-48,88416667	SC	CORUPÁ	CORUPÁ	-26,42388889	-49,2925
PR	SÃO JOSÉ DOS PINHAIOS	FAZENDINHA	-25,51916667	-49,14666667	SC	CAMPOM ERÉ	CAMPOM ERÉ	-26,43333333	-53,03388889
PR	CANDÓI	US. SANTA MARIA - SALTO CURUCACA	-25,53333333	-51,81666667	SC	ARAQUARI	JACU	-26,44805556	-48,83111111
PR	QUEDAS DO IGUAÇU	USINA SALTO OSÓRIO (DEFLUENTE)	-25,56666667	-50,56666667	SC	PONTE SC-301	PONTE SC-301	-26,483027778	-48,83027778
PR	CRUZEIRO DO IGUAÇU	CRUZEIRO DO IGUAÇU	-25,68305556	-53,13333333	SC	IRACEMA	IRACEMA	-26,45861111	-50,00305556
PR	FÓZ DO IGUAÇU	SALTO CATARATAS	-25,68305556	-54,43305556	SC	JARAGUÁ DO SUL	JARAGUÁ DO SUL	-26,46416667	-49,06866667
PR	FÓZ DO IGUAÇU	PLANALTO	-25,7	-53,768305556	SC	SÃO JOSÉ DO CEDRO	SÃO JOSÉ DO CEDRO	-26,4727778	-53,43611111
PR	PLANALTO	BAFRACAO	-25,73333333	-52,35	SC	GUARAMIRIM	GUARAMIRIM	-26,47694444	-48,95166667
PR	VERÉ	ÁGUAS DO VERÉ	-25,76916667	-52,92666667	PR	MATOS COSTA	MATOS COSTA	-26,48333333	-51,14861111
PR	REALIZA E TA SANEPAR	REALIZA E TA SANEPAR	-25,76944444	-53,15555556	PR	PALMAS	PALMAS	-26,48333333	-51,98333333
PR	SALTO DO LONTRA	SALTO DO LONTRA	-25,77666667	-53,31083333	SC	ITAÍOPOLIS	ITAÍOPOLIS	-26,53055556	-52
PR	SANTA IZABEL DO OESTE	SANTA IZABEL DO OESTE	-25,81666667	-53,5	SC	ABELARDO LUZ	ABELARDO LUZ	-26,55611111	-52,33083333
PR	PÉROLA DO OESTE	PÉROLA DO OESTE	-25,83333333	-53,75	SC	ARAQUARI	ARAQUARI	-26,56166667	-48,71916667
PR	SÃO MATEUS DO SUL	SÃO MATEUS DO SUL	-25,88333333	-50,78322222	SC	SÃO DOMINGOS	SÃO DOMINGOS	-26,58361111	-52,6027778
PR	AMPERÉ	AMPERÉ	-25,91666667	-53,48333333	SC	CALMON	CALMON	-26,59888889	-51,11666667
PR	MANDIRITUBA	MANDIRITUBA	-25,93404444	-49,39050556	SC	PASSOS MAIA	PASSOS MAIA	-26,60861111	-51,88166667
PR	MALLET	MALLET	-25,95222222	-50,67916667	SC	ROMELANDIA	PONTE DO SARGENTO	-26,68227778	-53,28666667
PR	COHOREL VIVIDA	PORTO PALMEIRINHA - 396	-25,97055556	-51,76666667	SC	SANTA TERENHZA	BARRA DO PRATA	-26,69833333	-49,83111111
PR	CAMPOM DO TENENTE	BURITI	-25,98305556	-49,71666667	SC	MONTE CASTELO	RESIDENCIA FUCK (LAJEADINHO)	-26,71027778	-50,29083333
PR	SÃO MATEUS DO SUL	FLUVIOPOLIS	-26,01916667	-50,5925	SC	DOCTOR PEDRINHO	DOCTOR PEDRINHO	-26,71722222	-49,46305556
SC	GARUVA	GARUVA	-26,03555556	-48,85	SC	LUIZ ALVES	LUIZ ALVES	-26,72416667	-48,93166667
PR	UNIÃO DA VITÓRIA	SALTO DO VAU	-26,06666667	-51,2	SC	POMERODE	POMERODE	-26,73666667	-49,17027778
PR	SANTO ANTONIO DO SUDOESTE	SANTO ANTONIO	-26,06666667	-53,73	SC	RIO DOS CEDROS	ARROZEIRA	-26,74083333	-49,27055556
PR	FRANCISCO BELTRÃO	FRANCISCO BELTRÃO	-26,08333333	-53,06666667	SC	PIÇARRAS	PIÇARRAS	-26,75	-48,69444444
PR	DIVISA	DIVISA	-26,09138889	-50,33888889	SC	BANDEIRANTE	BANDEIRANTE	-26,77527778	-53,6675
SC	MARCILIO DIAS (RVPS)	MARCILIO DIAS (RVPS)	-26,1	-50,38333333	SC	MODELO	MODELO	-26,77527778	-53,04638889
PR	RIO NEGRO	RIO NEGRO	-26,1	-52,68333333	SC	QUILONMETRO 30	QUILONMETRO 30	-26,77583333	-51,29277778
SC	PATO BRANCO	PATO BRANCO	-26,11666667	-52,68333333	SC	BENEDITO NOVO	BENEDITO NOVO	-26,78111111	-49,365
PR	BITURUNA	USINA BITURUNA	-26,16666667	-51,56	SC	ITOUPAVA CENTRAL	ITOUPAVA CENTRAL	-26,79666667	-49,08361111

UF	Município	Estação	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE	UF	Município	Estação	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE
SC	TIMBO	TIMBO NOVO	-26.82972222	-49.27194444	SC	BOM RETIRO	SANTA CLARA	-27.46	-49.31
SC	TIMBO	TIMBO NOVO	-26.82972222	-49.27194444	RS	MARCELINO RAMOS	MARCELINO RAMOS	-27.46472222	-51.90305556
SC	VARGEM BONITA	CAMPINA DA ALEGRIA	-26.87333333	-51.79638889	SC	PONTE ALTA DO SUL	-27.48194444	-50.385	
SC	JOSE BOITEUX	BARRAGEM NORTE	-26.895	-49.67222222	SC	GARCIA DE ANGELINA	-27.48533333	-48.98694444	
SC	LEBON REGIS	LEBON REGIS	-26.90166667	-50.65916667	RS	MIRAGUIA	MIRAGUIA	-27.50093333	-53.6925
SC	PONTE SERHADA	PONTE SERHADA	-26.90555556	-51.97166667	SC	LEOBERTO LEAL	LEOBERTO LEAL	-27.507075	
SC	INDAIÁL	INDAIÁL	-26.91361111	-49.2675	SC	OTACILIO COSTA	OTACILIO COSTA	-27.5077778	-50.11277778
SC	ILHOTA	ILHOTA-JUSANTE	-26.92166667	-48.83916667	SC	ANTONIO CARLOS	ANTONIO CARLOS	-27.51694444	-48.76944444
SC	WITMARSUM	WITMARSUM	-26.92611111	-49.8025	SC	PASSO CARU	PASSO CARU	-27.54166667	-50.36569444
SC	GASPAR	GASPAR (MONTANTE ETA)	-26.92638889	-48.96416667	SC	FLORIANÓPOLIS (Convenional)	FLORIANÓPOLIS (Convenional)	-27.5802778	-48.506
SC	SAUDADES	SAUDADES	-26.92833333	-53.0075	RS	GAURAMA	GAURAMA	-27.58722222	-52.09333333
SC	RIO DO CAMPO	RIO DO CAMPO	-26.93722222	-50.1455556	RS	LIBERATO SALZANO	LIBERATO SALZANO	-27.59916667	-53.07138889
SC	WARNOW	WARNOW	-26.94361111	-49.28444444	RS	ERECHIM - IPAGRO	ERECHIM - IPAGRO	-27.62944444	-52.27563333
SC	ITAJAI	ITAJAI	-26.95027778	-48.76138889	SC	SÃO JOSÉ DO CERRITO	SÃO JOSÉ DO CERRITO	-27.66166667	-50.57833333
SC	IPUMIRIM	BONITO	-26.95083333	-52.18166667	SC	RANCHÔ QUEIMADO	RANCHÔ QUEIMADO	-27.67194444	-49.01166667
SC	BLUMENAU	GARCIA	-26.96833333	-49.07416667	SC	SÃO LUDGERO	SÃO LUDGERO	-27.67416667	-48.82083333
SC	PRESIDENTE GETÚLIO	PRESIDENTE GETÚLIO - Rua Caminha Pintheiro Criciúma	-27.02888889	-49.535	RS	TUCUNDUVA	TUCUNDUVA	-27.67416667	-54.4625
SC	IBRAMA	NOVA BREMEN DALBERGIA	-27.03333333	-48.63333333	SC	BARRACAO	BARRACAO	-27.67861111	-51.1454722222
SC	APIUNA	APIUNA - RÉGUA NOVA	-27.03416667	-49.58972222	SC	ANITA GARIBALDI	ANITA GARIBALDI	-27.69222222	-51.12944444
SC	APIUNA	APIUNA - RÉGUA NOVA	-27.03805556	-49.39194444	SC	BOCAINA DO SUL	BOCAINA DO SUL	-27.70388889	-49.84722222
SC	NEI SSE CENTRAL	NEI SSE CENTRAL	-27.04027778	-49.38138889	SC	SANTO AMARO DA IMPERATRIZ	SANTO AMARO DA IMPERATRIZ	-27.70422222	-48.80361111
SC	TAQUARIÇU	TAQUARIÇU	-27.04222222	-49.36	SC	PAIM FILHO	PAIM FILHO	-27.7125	-51.73777778
SC	IRANI	IRANI	-27.05111111	-51.91222222	SC	ALFREDO WAGNER	ALFREDO WAGNER	-27.7305556	-49.38277778
SC	IBRAMA	IBRAMA	-27.05388889	-49.51666667	SC	BOCAINA DO SUL	BOCAINA DO SUL	-27.76361111	-49.96388889
SC	IBRAMA	IBRAMA	-27.05388889	-49.51686667	SC	VACARIA	VACARIA	-27.78916667	-49.24138889
SC	PALMITOS	PALMITOS	-27.06444444	-53.15694444	SC	BOCAINA DO SUL	BOCAINA DO SUL	-27.80416667	-49.78
SC	TAÍO	BARRAGEM OESTE	-27.09722222	-49.36	SC	LAGES Coral	LAGES Coral	-27.81166667	-50.305
SC	BRUSQUE	BRUSQUE (PCD)	-27.10055556	-48.91666667	RS	SARANDI	SARANDI	-27.85416667	-53.0277778
SC	TAÍO	TAÍO	-27.13055556	-49.99444444	RS	EREBANGO	EREBANGO	-27.86444444	-52.30472222
SC	MIRIM DOCE	CABECEIRA RIBEIRÃO CAETANO	-27.14111111	-49.90444444	RS	PORTO LUCENA	PORTO LUCENA	-27.88333333	-53.43333333
SC	PONTE ALTA DO NORTE	PONTE ALTA DO NORTE	-27.16111111	-50.46888889	RS	PALMEIRA DAS MISSÕES	PALMEIRA DAS MISSÕES	-27.90083333	-48.9277778
SC	JOAÇABA	JOAÇABA	-27.17166667	-51.50027778	SC	SÃO BONIFÁCIO	SÃO BONIFÁCIO	-27.90972222	-49.12972222
SC	RIO DO SUL	RIO DO SUL - NOVO POUSO REDONDO	-27.2077778	-49.62916667	SC	ANITÁPOLIS	ANITÁPOLIS	-27.92222222	-50.09916667
SC	NOVA TRENTO	NOVA TRENTO	-27.25722222	-49.94083333	SC	PAINEL	PAINEL	-27.96222222	-48.66691667
SC	CURITIBANOS	CURITIBANOS	-27.28638889	-48.93305556	SC	PAULO LOPEZ	PAULO LOPEZ	-27.98680556	-54.11638889
SC	THROMBUDO CENTRAL	THROMBUDO CENTRAL	-27.2875	-50.60805556	RS	ESQUINA ARAUJO	ESQUINA ARAUJO	-28.05611111	-51.78361111
RS	TIRADENTES DO SUL	ALTO URUGUAI	-27.3027778	-49.76888889	SC	SANANDUVA	SANANDUVA	-27.9827778	-51.06611111
SC	CONCORDIA	CONCORDIA	-27.30194444	-50.13944444	SC	URUBICI	URUBICI	-27.987925	-49.586
SC	GOVERNADOR CELSO RAMOS	GOVERNADOR CELSO RAMOS	-27.31055556	-51.99138889	RS	ANITÁPOLIS	ANITÁPOLIS	-28.00593333	-49.1155556
SC	CURITIBANOS	PASSO MAROMBAS	-27.31944444	-48.56361111	RS	VARGEM DO CEDRO	VARGEM DO CEDRO	-28.05454444	-51.45444444
SC	CAPINZAL	CAPINZAL	-27.33888889	-50.75388889	RS	CLEMENTE ARGOL	CLEMENTE ARGOL	-28.05166667	-53.99305556
SC	SÃO CRISTOVÃO DO SUL	PONTE DO RIO ANTINHAS	-27.34222222	-51.60333333	RS	GIRUÁ	GIRUÁ	-28.05236111	-54.36138889
SC	CAMPOS NOVOS	CAMPOS NOVOS	-27.34222222	-50.43583333	RS	TAPEJARA	TAPEJARA	-28.05861111	-51.99611111
RS	ITATIBA DO SUL	ITATIBA DO SUL	-27.35888889	-51.99138889	RS	CHAPADA	CHAPADA	-28.05916667	-53.06611111
SC	VIDAL RAMOS	VIDAL RAMOS	-27.3925	-49.98027778	RS	ESMERALDA	ESMERALDA	-28.05916667	-51.18805556
SC	MAJOR GERCINO	FAZENDA BOA ESPERANÇA	-27.3977778	-49.83138889	SC	VARIGEM DO CEDRO	VARIGEM DO CEDRO	-28.11111111	-48.91944444
SC	AGROLÂNDIA	AGROLÂNDIA	-27.41138889	-49.83138889	SC	BOA VISTA	BOA VISTA	-28.18333333	-53.98305556
SC	MAIOR GERCINO	MAIOR GERCINO	-27.41583333	-48.95111111	RS	Santo Antônio GARRUCHOS	Santo Antônio GARRUCHOS	-28.1877778	-55.63694444
SC	COLÔNIA XADREZ	COLÔNIA XADREZ	-27.41583333	-48.95111111	RS	GRÃO PARA	GRÃO PARA	-28.19136111	-54.21361111
								-28.19166667	-52.74563333

UF	Município	Estação	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE		UF	Município	Estação	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE
RS	SANTO ANTÔNIO DAS MISSÕES	PASSO DO SARMENTO	-28.20888889	-55.32333333	RS	BAGÉ	Passo do Cacá		-29.03888889	-52.51138889
SC	GRÂO PARÁ	RIO PEQUENO	-28.20944444	-49.1955	SC	SOMBRIÓ	UNISTALDA		-29.04563333	-49.80666667
RS	GUJARANI DAS MISSÕES	PASSO VIOLA	-28.21111111	-54.60305556	RS	UNISTALDA	ESQUINA DOS LIMA (STA. BARBARA)		-29.0475	-55.15111111
RS	CONDOR	CONDOR	-28.22555556	-53.47027778	RS	CAPÃO DO CIPÓ	BARROS CASSAL		-29.04805556	-54.57083333
SC	AMAZÉM	ARMAZEM CAPIVARI	-28.26166667	-49.01222222	RS	BARROS ASSAL	TUPANCIRETÁ		-29.08555556	-52.58444444
SC	SC	SÃO JOAQUIM	-28.27527778	-49.193416667	RS	TUPANCIRETÁ	SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA		-29.08555556	-53.81916667
SC	IMBITUBA	IMBITUBA	-28.27666667	-48.70027778	RS	ITAQUI	ITAQUI - IPAGRO		-29.11666667	-50.21666667
RS	IJUI	PASSO FAXINAL	-28.28944444	-53.77944444	RS	MUÇUM	FLORIDA		-29.11666667	-56.53333333
RS	CARAZINHO	CARAZINHO	-28.29333333	-52.72416667	RS	ITAQUI	ITAQUI		-51.86805556	-50.13583333
SC	SÃO JOAQUIM	SÃO JOAQUIM	-28.3	-49.93333333	RS	MUÇUM	PERDURACIONA		-29.18333333	-50.13583333
SC	SAO LUDGERO	SAO LUDGERO I	-28.32583333	-49.17916667	RS	SANTIAGO	SANTIAGO		-29.18666667	-54.85563333
RS	SÃO VICENTE DO SUL	Pto. Toropi	-28.33333333	-53.53333333	SC	PRAIA GRANDE	PRAIA GRANDE		-29.19853333	-49.96333333
SC	BOM JARDIM DA SERRA	BOM JARDIM DA SERRA	-28.33972222	-49.62138889	RS	ITAQUI	CACHOEIRA SANTA CECÍLIA		-29.19611111	-55.47527778
SC	ORLEANS	ORLEANS - MONTANTE	-28.35888889	-49.295	RS	ENCANTADO	ENCANTADO		-29.23333333	-51.86666667
RS	SAPIRANGA	Toca	-28.36666667	-51	RS	SANTIAGO	FLORIDA		-29.25166667	-54.59833333
SC	BOM JARDIM DA SERRA	DESPRAJADO	-28.36916667	-49.80777778	RS	LAVRAS DO SUL	LAVRAS DO SUL		-29.28333333	-53.96666667
RS	IJUI	IJUI - IPAGRO	-28.38805556	-53.91388889	RS	ITAQUI	PARSO MARIANO PINTO		-29.30888889	-56.05527778
RS	SANTA BÁRBARA DO SUL	SANTA BÁRBARA DO SUL	-28.38833333	-53.25861111	RS	CAXIAS DO SUL	NOVA PALMIRA		-29.335	-51.19027778
RS	LAGOA VERMELHA	RIO TURVO	-28.40416667	-51.48972222	RS	QUEVEDOS	QUEVEDOS		-29.35138889	-54.06684444
SC	TUBARÃO	RIO DO POUJO	-28.41972222	-49.10694444	RS	JAGUARI	FURNAS DO SEGREDO		-29.35888889	-54.50194444
RS	BOM JESUS	INVERNADA VELHA	-28.44944444	-50.29639889	RS	SANTIAGO	ERNESTO ALVES		-29.36611111	-54.73555556
RS	NÃO-ME-TOQUE	NÃO-ME-TOQUE	-28.45527778	-52.81583333	RS	SÃO VENDELINO	SÃO VENDELINO		-29.36638889	-51.37111111
RS	IJUI	CONCEIÇÃO	-28.45611111	-53.97166667	RS	LAJAEADO	LAJAEADO		-29.46972222	-51.95777778
SC	LAGUNA	LAGUNA	-28.48333333	-52.30833333	RS	URUGUAIANA	JOGO ARREGUI		-29.47111111	-51.19027778
RS	SANTO ANTÔNIO DAS MISSÕES	SANTO ANTÔNIO DAS MISSÕES	-28.4925	-55.97972222	RS	JAGUARI	JAGUARI		-29.50684444	-54.6775
SC	URUSSANGA	URUSSANGA	-28.53222222	-49.315	RS	TERRA DE AREIA	TERRA DE AREIA		-29.59111111	-50.03361111
RS	SAO FRANCISCO DE ASSIS	Pto. do Miricatu	-28.53222222	-54.70972222	RS	MANOEL VIANA	MANOEL VIANA		-29.59388889	-55.48563333
SC	JAGUARUNA	JAGUARUNA	-28.60666667	-49.03930556	RS	SÃO PEDRO DO SUL	SÃO PEDRO DO SUL		-29.63277778	-54.28388889
RS	CASCA	PASSO MIGLIAVACA	-28.61944444	-51.86666667	RS	ALEGRETE	FAZENDA TRÊS CAPOÉS		-29.63533333	-56.09472222
RS	SÃO BORJA	PASSO SÃO BORJA	-28.66638889	-55.97972222	RS	CANDELARIA	CANDELARIA		-29.66944444	-52.79027778
RS	ANDERSON CLAYTON	FORQUILHINHA	-28.66666667	-53.61472222	RS	ALEGRETE	JACQUAIA (estação do tigre)		-29.68694444	-55.19533333
RS	SÃO BORJA	PASSO DO NOVO	-28.67805556	-55.58111111	RS	MONTENEGRO	Barra Ribeiro		-29.70253333	-50.03856333
SC	ICARA	ICARA	-28.72166667	-54.4525	RS	CANDELARIA	PORTO GARIBALDI		-29.71277778	-52.88
RS	SANTA CLARA DO INGAÍ	SANTA CLARA DO INGAÍ	-28.72888889	-53.18522222	RS	URUGUAIANA	URUGUAIANA		-29.75638889	-57.09361111
RS	QUINZE DE NOVEMBRO	PASSO MAJOR ZEFERINO	-28.73361111	-54.64716667	RS	URUGUAIANA	PASSO DO LEÃO		-29.76527778	-56.52188889
SC	FORQUILHINHA	FORQUILHINHA	-28.75055556	-49.47305556	RS	URUGUAIANA	PLANO ALTO		-29.78333333	-55.76666667
RS	NOVA PRATA	PRATA	-28.76511111	-51.62833333	RS	URUGUAIANA	ALEGRETE		-29.88333333	-54.81666667
RS	SÃO MIGUEL DAS MISSÕES	PASSO TANHAS	-28.78777778	-50.45611111	RS	URUGUAIANA	PORTO GARIBALDI		-29.81166667	-52.41684444
SC	MELEIRO	MELEIRO	-28.83222222	-49.63666667	RS	SAPUCAIA DO SUL	AGROPECUÁRIA ANU		-29.84166667	-50.7425
SC	TIMBÉ DO SUL	TIMBÉ DO SUL	-28.835	-49.83777778	RS	SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA	SAPUCAIA DO SUL		-29.88227778	-51.16111111
RS	GIAPORÉ	GIAPORÉ	-28.84444444	-51.87916667	RS	SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA	SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA		-29.88227778	-50.54861111
RS	ANTÔNIO PRADO	ANTÔNIO PRADO	-28.85333333	-51.12844444	RS	GLORINHA	GLORINHA		-29.88888889	-50.78888889
SC	MELEIRO	FOZ DO MANUEL ALVES	-28.85361111	-49.58972222	RS	CACEQUI	CACEQUI		-29.88333333	-54.81666667
RS	SÃO FRANCISCO DE PAULA	PASSO TANHAS	-28.8675	-50.45611111	RS	RIO PARDO	RIO PARDO		-29.94166667	-52.41684444
RS	VILA FLORES	PASSO DO PRATA	-28.8775	-51.44833333	RS	SÃO JERÔNIMO	SÃO JERÔNIMO		-29.95333333	-51.72388889
SC	MELEIRO	ARARANGUÁ	-28.88333333	-49.51866667	RS	FAZENDA NOSSA SENHORA CONCEIÇÃO	FAZENDA NOSSA SENHORA CONCEIÇÃO		-29.96444444	-50.59944444
RS	CUNHA	CUNHA	-28.8975	-50.085	RS	MORUNGAVA	MORUNGAVA		-29.97777778	-51.97777778
RS	SÃO BERNARDO	SÃO BERNARDO	-28.90527778	-54.065	RS	CHARQUEADAS	CHARQUEADAS		-29.97583333	-51.61194444
SC	TURVO	TURVO	-28.91494444	-49.70194444	RS	Colonia Pavão	Colonia Pavão		-29.97583333	-52.06666667
RS	SÃO BORJA	FAZENDA SANTA CECÍLIA DO BUTIJU	-28.99972222	-55.67146667	RS	PASSO SÃO LOURENÇO	PASSO SÃO LOURENÇO		-30.00888889	-53.015

UF	Município	Estação	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE	UF	Município	Estação	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE
RS	URUGUAIANA	FAZENDA JUNCO	-30.01888889	-56.82138889	RS	PIRATINI	FERARIA	-31.7375	-53.05388889
RS	CACEQUI	SAICA	-30.02244444	-55.09361111	RS	PELOTAS	PELOTAS	-31.75	-52.35
RS	VIAMÃO	LOMBAS	-30.04666667	-50.70194444	RS	PELOTAS	PELOTAS	-31.75	-52.3777778
RS	URUGUAIANA	HARMONIA	-30.06666667	-56.17027778	RS	PELOTAS	GRANJA DONA CECILIA	-31.7725	-52.22527778
RS	GUAIABA	GUIABA COUNTRY CLUB	-30.10666667	-51.64888889	RS	PEDRO OSÓRIO	PEDRO OSÓRIO	-31.86333333	-52.81611111
RS	CACHOEIRA DO SUL	BARRA VERMELHO	-30.14055556	-51.93111111	RS	CERRO CHATO	CERRO CHATO	-31.86555556	-53.27444444
RS	BUTIÁ	BUTIA	-30.15888889	-53.56444444	RS	PEDRO OSÓRIO	PEDRO OSÓRIO	-31.87972222	-52.81027778
RS	SÃO SEPÉ	SÃO SEPÉ MONTANTE	-30.19611111	-53.56333333	RS	BARRA RIO GRANDE	GRANJA CORONEL PEDRO OSÓRIO	-31.96666667	-51.9
RS	SÃO SEPÉ	SÃO SEPÉ - MONTANTE	-30.19416667	-53.56333333	RS	ARROIO GRANDE	ARROIO GRANDE	-32.00611111	-52.65277778
RS	PANTANO GRANDE	PANTANO GRANDE	-30.19333333	-53.49194444	RS	RIO GRANDE	RIO GRANDE	-32.07916667	-52.07916667
RS	ROSÁRIO DO SUL	SÃO CARLOS	-30.20416667	-54.917125	RS	RIO GRANDE	LAGA DOS PATOS (Rio Grande)	-32.03333333	-52.2
RS	ROSÁRIO DO SUL	ROSARIO DO SUL	-30.24944444	-54.917125	RS	AFLITO GRANDE	ARROIO GRANDE (Arroio Grande)	-32.33055556	-52.925
RS	PALMARES DO SUL	PALMARES DO SUL	-30.25138889	-50.50583333	RS	RIO GRANDE	GRANJA CERRITO	-32.33055556	-52.54
RS	PASSO DA CRUZ	PASSO DA CRUZ	-30.25416667	-57.31666667	RS	RIO GRANDE	RIO GRANDE	-32.35805556	-52.53861111
RS	BARRA DO QUARAÍ	SÃO GABRIEL - IPAGRO	-30.34083333	-54.31694444	RS	SANTA VITÓRIA DO PALMAR	GRANJA OSÓRIO	-32.95388889	-53.11888889
RS	SÃO GABRIEL	QUARAÍ	-30.38444444	-56.46555556	UY	URUGUAI	La Estanzuela (Uruguay)	-33.66022778	-57.43
RS	QUARAÍ	QUARTERIA	-30.38444444	-56.46555556					
RS	SÃO JERÔNIMO	QUITTERIA	-30.41888889	-52.07916667					
RS	SÃO SEPÉ	QUITTERIA	-30.43227778	-53.7125					
RS	CACHEIRIA DO SUL	IRAPUAZINHO	-30.48222222	-53.11833333					
RS	SANTANA DO LIVRAMENTO	SANTA RITA	-30.51638889	-55.12666667					
RS	CERRO GRANDE DO SUL	CATY	-30.52255556	-56.17222222					
RS	ENCRUZILHADA DO SUL	CERRO GRANDE	-30.59388889	-57.15666667					
RS	MOSTARDAS	SOLIDÃO	-30.62227778	-52.84					
RS	SANTANA DO LIVRAMENTO	FAZENDA ENCERRA	-30.66333333	-50.54083333					
RS	SÃO JOSÉ DO NORTE	Tavares	-30.69555556	-55.97444444					
RS	SANTANA DO LIVRAMENTO	ALTO QUARAÍ	-31.17	-51.05					
RS	CAMAQUÁ	FAZENDA DA BOA VISTA	-30.75227778	-55.95138889					
RS	CAMAQUÁ	CAMAQUÁ	-30.77194444	-51.66022778					
RS	CACAPAVA DO SUL	CACAPAVA DO SUL	-30.86583333	-51.79583333					
RS	DOM PEDRITO	DOM PEDRITO	-30.96416667	-53.41722222					
RS	CRISTAL	PASSO DO MENDONÇA	-31.00655556	-54.67583333					
RS	DOM PEDRITO	TORQUATO SEVERO	-31.02633333	-52.04916667					
RS	DOM PEDRITO	PACHEOA	-31.13027778	-54.17888889					
RS	DOM PEDRITO	TRÊS VENDAS	-31.13416667	-51.78861111					
RS	SÃO LOURENÇO DO SUL	BOQUEIRÃO	-31.27527778	-53.40588889					
RS	PINHEIRO MACHADO	TORRINHAS	-31.28388889	-55.03722222					
RS	SÃO LOURENÇO DO SUL	SÃO LOURENÇO DO SUL	-31.31416667	-53.49944444					
RS	CANGUÇU	CANGUÇU	-31.37722222	-51.96383333					
RS	SALTO	Salto Uruguay	-31.40444444	-52.67333333					
RS	RIO GRANDE	Taim	-31.43889	-57.98102					
RS	PINHEIRO MACHADO	PINHEIRO MACHADO	-31.51666667	-51.41666667					
RS	PIRATINI	Pé. do Império	-31.5775	-53.37694444					
RS	CERRITO	VILA FREIRE	-31.66444444	-52.77277778					
RS	PELOTAS	GRANJA SÃO PEDRO	-31.67277778	-52.17777778					
UR	URUGUAI	Tacuarembó	-31.70585	-55.99149					
UR	PIRATINI	RIO PIRATINI (Piratini)	-31.71666667	-52.9					
RS	PEDRAS ALTAS	PEDRAS ALTAS	-31.73333333	-53.58805556					