

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

Richard Reno da Costa Lobato

**VARIABILIDADE DOS FLUXOS DE ENERGIA E
EVAPOTRANSPIRAÇÃO SOB INFLUÊNCIA DO ENOS NO BIOMA
PAMPA BRASILEIRA**

Santa Maria, RS
2022

Richard Reno da Costa Lobato

**VARIABILIDADE DOS FLUXOS DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO SOB
INFLUÊNCIA DO ENOS NO BIOMA PAMPA BRASILEIRA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Meteorologia**.

Orientadora: Dra. Débora Regina Roberti

Santa Maria, RS
2022

Richard Reno da Costa Lobato

**VARIABILIDADE DOS FLUXOS DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO SOB
INFLUÊNCIA DO ENOS NO BIOMA PAMPA BRASILEIRA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Meteorologia**.

Aprovada em 31 de agosto de 2022

Débora Regina Roberti, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Denise Cybis Fontana, Dra. (UFRGS)

Vanessa de Arruda Souza, Dra. (UFRGS)

Santa Maria, RS

2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares, amigos e colegas que me ajudaram de forma direta e indireta em sua conclusão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a minha família por todo apoio e ajuda nos momentos que mais precisei.

Agradeço aos meus amigos, tanto os de Belém (PA) quanto os Santa Maria (RS), pelo carinho, companhia e incentivo.

Agradeço aos meus colegas do LμMet pela colaboração e por toda ajuda que recebi. Sem eles, sem dúvida este trabalho seria mais difícil.

Agradeço imensamente a professora Débora Regina Roberti por todo apoio, atenção e paciência nesse período do meu mestrado.

RESUMO

VARIABILIDADE DOS FLUXOS DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO SOB INFLUÊNCIA DO ENOS NO BIOMA PAMPA BRASILEIRA

AUTOR: Richard Reno da Costa Lobato
ORIENTADORA: Dra. Débora Regina Roberti

O Bioma Pampa brasileiro está localizado no extremo sul do Brasil, na região de clima subtropical úmido, apresentando uma distribuição uniforme de precipitação durante todo o ano, o que propicia o desenvolvimento de atividades agrícolas, principalmente da pecuária devido a predominância da vegetação de gramíneas. Diversos estudos têm mostrado que a precipitação no bioma pampa brasileiro é alterada na ocorrência das fases do fenômeno ENOS (El Niño/Oscilação Sul). O ENOS é um fenômeno oceânico atmosférico que ocorre no Pacífico Tropical, possuindo duas fases: a fase quente (El Niño) e a fase fria (La Niña), trazendo alterações climáticas para diversas regiões do mundo. Estas alterações podem influenciar diferentemente as diversas variáveis do sistema climático. Neste trabalho, estudamos a influência do fenômeno ENOS nas componentes do balanço de energia em superfície, na evapotranspiração (ET) e nas variáveis atmosféricas na região do Bioma Pampa brasileiro. Para tanto, foram utilizados dados obtidos em uma torre de fluxo, que tem realizado medidas das componentes do balanço de energia e variáveis atmosféricas em uma área de pecuária sob campo nativo do bioma Pampa, localizada no município de Santa Maria - RS. Os fluxos superficiais (saldo de radiação – R_n ; energia para aquecer a atmosfera - H e energia processos de mudança de estado físico da água - LE) foram obtidos a cada 30 min. através do método de *Eddy Covariance* durante 7 anos (2015 a 2021). Neste período, houve a ocorrência de um El Niño (2015/2016) e dois La Niñas (2017/2018 e 2020/2021). As anomalias dos fluxos superficiais e das variáveis ambientais em relação à média no período de estudo foram utilizadas para avaliar a influência do ENOS na região. Os resultados mostraram que em ambas as fases do ENOS há alterações consideráveis nas variáveis ambientais de precipitação, radiação global, conteúdo de água no solo, temperatura do solo, déficit de pressão de vapor e umidade relativa. Houve alterações significativas dos fluxos superficiais, com o H apresentando anomalia predominantemente negativa em período de El Niño e positiva em La Niña e LE apresentando anomalias predominantemente negativas em ambos os períodos de ENOS. Diferentemente da ET real, a ET de referência apresentou valores de anomalia positivos em período de La Niña. Todas as variáveis estudadas neste trabalho apresentaram valores acentuados (tanto negativo quanto positivo) de anomalias nos meses correspondentes a primavera do hemisfério sul, corroborando com maiores informações sobre o comportamento dessas variáveis sob influência do ENOS neste importante bioma brasileiro.

Palavras-chave: Teleconexões climáticas. Eddy Covariance. Balanço de radiação. Vapor d'água.

ABSTRACT

VARIABILITY OF ENERGY FLUX AND EVAPOTRANSPIRATION UNDER ENSO INFLUENCE IN THE BRAZILIAN PAMPA BIOME

AUTHOR: Richard Reno da Costa Lobato

ADVISER: Débora Regina Roberti

The Brazilian Pampa Biome is located in the extreme south of Brazil, in the humid subtropical climate region, with a uniform distribution of precipitation throughout the year, which favors the development of agricultural activities, mainly livestock due to the predominance of grass vegetation. Several studies have shown that precipitation in the Brazilian pampa biome is altered in the occurrence of the ENSO phases (El Niño/Southern Oscillation). ENSO is an atmospheric oceanic phenomenon that occurs in the Tropical Pacific, having two phases: the warm phase (El Niño) and the cold phase (La Niña), bringing climate change to different regions of the world. These changes can influence different climate system variables differently. In this work, we study the influence of the ENSO phenomenon on the surface energy balance components, on evapotranspiration (ET) and on atmospheric variables in the Brazilian Pampa Biome region. For that, data obtained from a flux tower were used, which has carried out measurements of the components of the energy balance and atmospheric variables in a livestock area under a native field of the Pampa biome, located in the municipality of Santa Maria - RS. The surface fluxes (radiation balance - R_n ; energy to heat the atmosphere - H and energy for the physical state change of water - LE) were obtained every 30 min. through the Eddy Covariance method for 7 years (2015 to 2021). During this period, there was an El Niño (2015/2016) and two La Niñas (2017/2018 and 2020/2021). The anomalies of surface fluxes and environmental variables in relation to the average in the study period were used to assess the influence of ENSO in the region. The results showed that in both ENSO phases there are considerable changes in the environmental variables of precipitation, global radiation, soil water content, soil temperature, vapor pressure deficit and relative humidity. There were significant changes in surface fluxes, with H showing a predominantly negative anomaly in the El Niño period and positive in La Niña and LE showing predominantly negative anomalies in both ENSO periods. Unlike the real ET, the reference ET showed positive anomaly values in the La Niña period. All the variables studied in this work presented accentuated values (both negative and positive) of anomalies in the months corresponding to spring in the southern hemisphere, corroborating with more information about the behavior of these variables under the influence of ENSO in this important Brazilian biome.

Keywords: Climate teleconnections. Eddy Covariance. Radiation balance. Water vapor.

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

Lobato, Richard
VARIABILIDADE DOS FLUXOS DE ENERGIA E
EVAPOTRANSPIRAÇÃO SOB INFLUÊNCIA DO ENOS NO BIOMA PAMPA
BRASILEIRA / Richard Lobato.- 2022.
69 p.; 30 cm

Orientadora: Débora Roberti
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Meteorologia, RS, 2022

1. Teleconexões climáticas 2. Eddy Covariance 3.
Balanço de radiação 4. Vapor d'água I. Roberti, Débora II.
Título.

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

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

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVOS	6
3 REVISÃO TEÓRICA	7
3.1 IMPORTÂNCIA DO BIOMA PAMPA	7
3.2 FENÔMENOS METEOROLÓGICOS ATUANTES NO SUL DO BRASIL.....	8
3.3 MODULADORES CLIMÁTICOS	9
3.3.1 ENOS	9
3.3.2 Célula de Walker	9
3.3.3 El Niño	11
3.3.4 La Niña	12
3.4 EFEITO DO ENOS NO BRASIL	13
3.5 ÍNDICE ENOS MULTIVARIADO VERSÃO 2 (MEI.V2)	14
3.6 ESTIMATIVA DOS FLUXOS DE ENERGIA	16
3.7 TÉCNICA DE EDDY COVARIANCE (EC)	17
3.8 EVAPOTRANSPIRAÇÃO	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 SÍTIO MICROMETEOROLÓGICO DE SANTA MARIA	20
4.2 ESTIMATIVA DOS FLUXOS E SOFTWARE DE PROCESSAMENTO	21
4.3 PREENCHIMENTO DE FALHAS	22
4.4 BALANÇO DE ENERGIA.....	22
4.5 MÉTODO MICROMETEOROLÓGICO	25
4.6 MÉTODO PENMAN-MONTEITH.....	26
4.7 DISPONIBILIDADE E SELEÇÃO DE DADOS NOS PERÍODOS NEUTROS E INFLUENCIADOS PELO ENOS	27
4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 CONDIÇÕES AMBIENTAIS	30
5.2 ANOMALIA DEVIDO AO FENÔMENO ENOS	32
5.2.1 Anomalias mensais das variáveis atmosféricas	32
5.2.2 Anomalias mensais das variáveis do solo	34
5.2.3 Anomalias mensais dos fluxos de energia	35
5.3 MÉDIA DAS ANOMALIAS DOS 4 PERÍODOS	37
5.4 RELAÇÃO ENTRE ET E ETO NO BIOMA PAMPA	40
5.4.1 Comparação mensal entre ETr e ETo	40
5.4.2 Anomalia da ETr e ETo	42

5.5 ANOMALIA DAS VARIÁVEIS EM OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO	44
5.6 RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS COM OS FLUXOS ENERGÉTICOS EM NE, EL E LA.....	44
6 CONCLUSÃO	48
REFERENCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A presença de vapor d'água na atmosfera terrestre tem um papel fundamental nas características físicas, químicas e biológicas do nosso planeta (BARBOSA, 2014). O vapor de água é o gás de efeito estufa dominante e a fonte gasosa mais importante de opacidade da radiação solar na atmosfera. A principal forma de transporte em larga escala do vapor d'água para diversas regiões do planeta é através da circulação geral da atmosfera, que é o mecanismo de movimentação das massas de ar, ocasionado por gradientes de temperatura e pressão presentes na atmosfera terrestre (SCHNEIDER, 2006; MELO e MARENGO, 2008; PAULUIS e KORTY, 2010). O mecanismo físico básico que envolve as circulações de massas de ar no planeta envolve diferenças de densidade entre massas de ar frias e quentes, presentes tanto em larga escala quanto em micro escala (SCHNEIDER, 2006). Essa dinâmica, associada às variações de latitude, dão origem as chamadas células de circulação geral atmosféricas.

Mudanças anômalas na Temperatura Superficial do Mar (TSM) geram alterações consideráveis no padrão de circulação das células de circulação geral atmosféricas, causando modulações nos sistemas atmosféricos terrestres (PEZZI, 2016). Os chamados “moduladores climáticos”, como El Niño Oscilação Sul (ENOS), “Dipolo do Atlântico” (DA), “Oscilação Decadal do Pacífico” (ODP), “Oscilação Interdecadal do Pacífico” (OIP) são exemplos de mecanismos oceano - atmosféricos caracterizados como uma mudança anômala (ou cíclica) na TSM e que causam alterações climáticas em torno do globo (MANTUA, 1997; ENFIELD, 1999; MANTUA e HARE, 2002; FERREIRA e MELLO, 2005; NASCIMENTO et al., 2018).

O ENOS é o modulador climático que possui a maior frequência e variabilidade, ocorre no Oceano Pacífico Tropical e é considerado como a principal causa da variabilidade climática em diversas regiões do globo (BOURREL et al., 2015). Apresenta duas fases opostas: uma fase quente denominada El Niño (EL) e uma fase fria denominada La Niña (LA) (BERLATO e FONTANA, 2003; SILVA et al., 2014). No Brasil, por ser um país de extensão territorial continental, sofre diferentes impactos do ENOS de acordo com a latitude (DE OLIVEIRA e SATYAMURTY, 1998). Tais alterações incluem déficit ou superávit de variáveis meteorológicas de precipitação, umidade e radiação solar, causando impactos em diversos setores industriais e econômicos. Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, o EL causa déficit pluviométrico e conseqüentemente, tempo seco. No entanto, na região centro sul brasileira, acarreta a elevação pluviométrica e da umidade. A LA tem efeito oposto, causando superávit pluviométrico nas regiões norte e nordeste e seca no centro sul do Brasil (MARENGO e OLIVEIRA, 1998; ARAGÃO, 1998).

O estado do Rio Grande do Sul (RS), situado no extremo sul do Brasil e pertencente à região sudeste da América do Sul (sul do Brasil, Nordeste da Argentina, Uruguai e Sul do Paraguai), que obtém elevada influência dos ENOS, especialmente em relação à precipitação e umidade (ROPELEWSKI e HALPERT, 1987; STUDZINSKI e DIAZ, 1994; DIAZ et al., 1998; GRIMM et al., 1998; RAO e HADA, 1990; BELARTO et al., 2005). O estado do RS está inserido em dois diferentes biomas: a Mata Atlântica, que segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ocupa cerca de 37% do estado, e o Pampa que ocupa 63%. Estes biomas apresentaram alterações antrópicas ao longo do tempo, principalmente pela pecuária e por atividades agrícolas, que é a base econômica do estado (LOPES e BERLATO, 2000; JACÓBSEN et al., 2003).

O Bioma Pampa brasileiro está inserido em uma região de clima subtropical úmido apresentando uma boa distribuição pluviométrica durante todo o ano (BERLATO, 1992; SILVA et al., 2007; TEIXEIRA e PIETRO, 2020), o que propicia no forte desenvolvimento de atividades agrícolas, principalmente da pecuária devido a predominância da vegetação de gramíneas. No entanto, o autor Berlato (1992) relata que apesar da boa distribuição temporal da precipitação nas estações do ano no bioma Pampa, a variabilidade interanual dessa variável meteorológica é apresentada como o principal fator limitante às culturas na primavera e verão, responsável por oscilações na produção agrícola da região. Portanto, estudos que envolvem as trocas hídricas entre a superfície e a atmosfera, assim como análises da variabilidade dos fluxos de energia em decorrência de fatores climáticos são de demasiada importância para a agricultura e para a pecuária no bioma Pampa, no qual são atividades essenciais na economia do estado do RS (MAIA et al., 2022). Apesar da importância deste bioma, estudos que envolvem a influência de fatores climáticos como o ENOS nos fluxos de energia e evapotranspiração (ET) no sul do Brasil são escassos. Assim, acompanhar tais variações e possíveis modulações deste fenômeno oceano atmosférico são de extrema importância para a prevenção a tomada de decisão quanto a agropecuária, assim como na validação de modelos climáticos.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) nas componentes do balanço de energia e ET no bioma Pampa. Assim, as questões científicas que serão discutidas neste trabalho são:

- (i) Qual o padrão das variáveis ambientais e das componentes do balanço de energia em períodos de atuação do fenômeno ENOS e nos períodos neutros na área de estudo?
- (ii) Como as anomalias destas variáveis em relação à média no período de estudo variam em períodos neutros e de ENOS?
- (iii) A relação entre as variáveis atmosféricas e os fluxos superficiais se altera em períodos de atuação de ENOS?
- (iv) A ET de referência apresenta o mesmo padrão que a ET real em período sob influência de ENOS e em período neutro?

Para responder estas questões, serão utilizados dados obtidos no sítio micrometeorológico de Santa Maria - RS, localizada no bioma Pampa. Os fluxos de energia foram obtidos a partir do método de Covariância de Vórtices Turbulentos ou *Eddy Covariance*, num período de sete anos. A evapotranspiração de referência foi calculada a partir do método Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998). Os dados utilizados neste trabalho para identificação da atuação do fenômeno ENOS foram adquiridos da *National Oceanic and Atmospheric* (NOAA) dos Estados Unidos.

Este trabalho está estruturado em: 1 – Introdução; 2 – Objetivos; 3 - Referencial Teórico; 4 Materiais e métodos; 5 – Resultados e discussão e 6 – Conclusão.

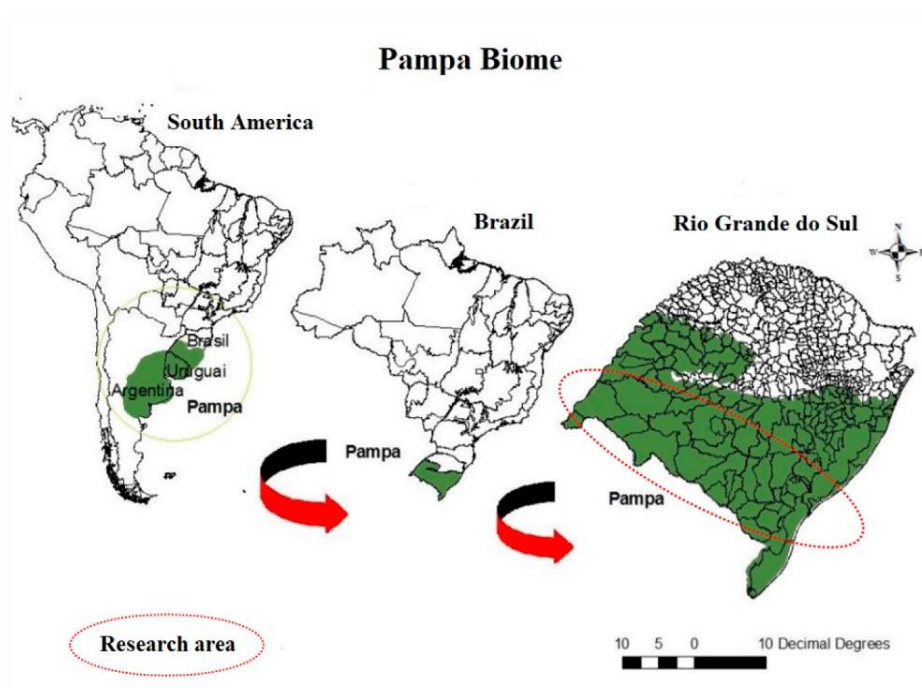
3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 IMPORTÂNCIA DO BIOMA PAMPA

O Brasil é um país com dimensões continentais, apresentando uma posição geográfica predominantemente tropical, com uma região costeira ampla e grande parte do seu território se estendendo ao interior da América do Sul. Essa disposição geográfica, somada as condições de relevo e clima, leva a uma considerável diversificação de ecossistemas, e consequentemente, a uma grande riqueza de fauna e flora (ROVEDDER, 2013). No Brasil, são encontrados seis biomas: Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pantanal e Pampa. Estes biomas são importantes não somente como recursos naturais, mas possuem destaque como ambientes de grande riqueza natural no planeta (THOMÁZ, 2010).

O bioma Pampa é uma extensa região natural com mais de 700 mil quilômetros quadrados que abrange todo o Uruguai, o centro-leste da Argentina, o extremo sudeste do Paraguai, além da metade sul do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Ele representa uma das regiões de mais extensas pastagens temperadas do planeta. Em nível global, o bioma Pampa compreende 2,5% das terras agrícolas do mundo, com 0,45% da população mundial, onde vivem cerca de 35 milhões pessoas (FERNANDES, 2017; BENCKE et al., 2016).

Figura 1 – Localização do bioma pampa na América do Sul



Fonte: Viana et al., 2021.

No Brasil, o bioma Pampa abriga uma grande variedade de espécies vegetais e animais (sendo algumas ameaçadas de extinção) e extensões remanescentes de mata nativa. Apresenta um banco genético bovino, equino e ovino que reflete na apurada seleção genética de raças feita por criadores ao longo dos anos, colocando o rebanho do Pampa em destacada posição no cenário nacional e internacional (BENCKE et al., 2016; FERNANDES, 2017). O bioma apresentava um predomínio da pecuária até a introdução de monoculturas, especialmente de soja e trigo a partir dos anos de 1960 (VERDUM, 2006). Além disso, o bioma apresenta uma elevada procura para investimentos estrangeiros no plantio de monoculturas, tais como eucalipto e pinus, tornando-se um bioma importante neste ramo (MATEI e FILIPPI, 2013).

O Pampa apresenta assim uma vasta reserva de recursos naturais e uma grande importância econômica para o RS. No Brasil, é um dos ecossistemas mais ameaçados e menos conservados, motivos este que o torna importante para a ampliação de estudos em diversas áreas nessa região.

3.2 FENÔMENOS METEOROLÓGICOS ATUANTES NO SUL DO BRASIL

A região sul do Brasil possui um regime pluviométrico bem distribuído ao longo do ano e com elevados totais pluviométricos, com média de 1800 mm por ano, distribuídos em aproximadamente 26% na primavera, 24% no verão, 25% no outono e 25% no inverno (SILVA, 2010; WREGE, 2011; FABRIS, 2013). A precipitação da região é influenciada por diferentes sistemas meteorológicos ao longo do ano, sendo eles: sistemas frontais, ciclones, complexos convectivos de mesoescala, linhas de instabilidade, vórtices ciclônicos de altos níveis e as circulações de brisa (REBOITA et al., 2012; GATTI, 2019).

Os sistemas frontais são os principais responsáveis pela precipitação no sul do Brasil, ocorrendo devido à zona de encontro entre duas massas de ar com propriedades térmicas distintas. Na ocorrência de frentes frias, a massa de ar frio força a massa de ar mais quente a ascensão, uma vez que esta possui menor densidade. Essa dinâmica favorece a formação de nuvens e precipitação (REBOITA et al., 2012; MENDONÇA, 2017). Logo após a passagem de uma frente fria, sobre determinada região, a precipitação cessa e a temperatura do ar diminui, o tempo nessa região obtém estabilidade por conta da densidade do ar frio, o que desfavorece a formação de nuvens, e conseqüentemente, tem-se dia ensolarado. Em vista da ausência de nuvens, a perda radiativa da superfície é maior (NIMER, 1972; REBOITA et al., 2012).

A variabilidade e intensidade desses fenômenos meteorológicos precipitantes mencionados acima, assim como os fluxos de energia e vapor d'água, podem sofrer influências

de mecanismo oceano atmosféricos, denominados moduladores climáticos (ALLAN et al., 1996; FONTANA e BERLATO, 1997; CAMPOS e SILVA, 2010; RODRIGUES et al., 2011; OLIVEIRA JÚNIOR, 2014; BODAS TERASSI, 2018; SANTOS et al., 2021).

3.3 MODULADORES CLIMÁTICOS

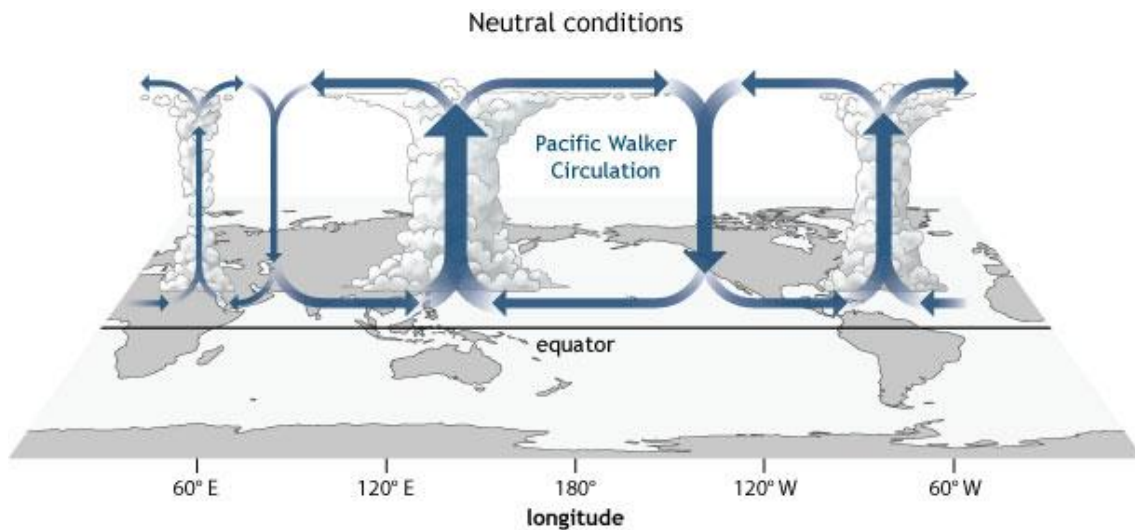
3.3.1 ENOS

Os moduladores climáticos são definidos como sistemas oceano e/ou atmosféricos que causam alterações no clima do globo. O El Niño Oscilação Sul (ENOS), tem sido considerado o principal mecanismo modulador da variabilidade climática nacional e global, em escala interanual (POWER et al., 1999; RÚA URIBE, et al., 2012; WITTENBERG et al., 2014; MOURA, 2014). Este fenômeno apresenta duas fases opostas: uma fase quente denominada El Niño (EL) e uma fase fria denominada La Niña (LA), trazendo alterações nos padrões de circulação leste - oeste e que podem afetar significativamente o clima (PHILANDER, 1998; MEINEN, 2000; MARTINS, 2008; FIGLIUOLO, 2017). A circulação longitudinal através do Pacífico equatorial é conhecida como célula de Walker ou circulação de Walker (SOUZA, 2002; LAU, 2003). Para entender o funcionamento do fenômeno ENOS e suas duas fases, é necessário compreender o funcionamento desta circulação em condições normais/neutras.

3.3.2 Célula de Walker

A célula de Walker é acionada por gradientes de temperatura e pressão (Figura 2). Áreas de alta pressão se formam sobre as águas mais frias do leste do Pacífico. Áreas de baixa pressão se formam sobre o Pacífico ocidental mais quente. Os ventos próximos ao equador fluem de áreas de alta pressão para baixa pressão, e assim os ventos próximos à superfície cruzam o Pacífico se movendo de leste a oeste como parte dos ventos alísios (GEISLER, 1981; LI e MURAKAMI, 2015).

Figura 2 - Representação da célula de Walker em condições de neutralidade

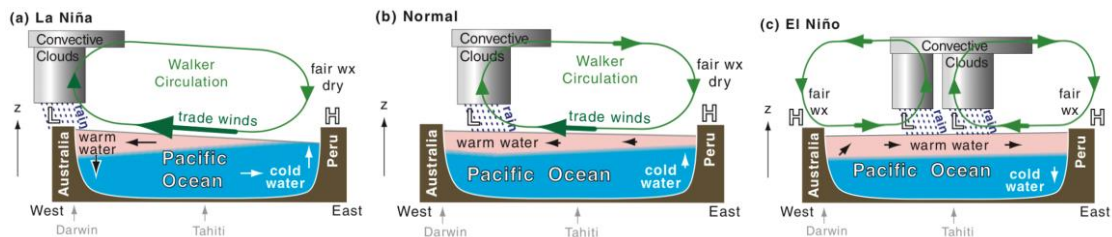


Fonte: NOAA.

Os ventos alísios empurram parte da água quente do oceano próximo à superfície para o oeste, ajudando a aquecer a temperatura do ar. O ar quente sobre o oeste do Pacífico ascende e forma nuvens, perdendo sua umidade em forma de precipitação. O ar mais seco então viaja de volta ao longo do topo da troposfera em direção ao leste do Pacífico, criando um loop (LAU, 2003; NÓBREGA e SANTIAGO, 2016). Este ar frio do Pacífico converge com o ar frio do continente e afunda ao longo da costa leste do Pacífico. Como o ar é frio e seco, há menos eventos de chuva nessa região de alta pressão. A célula de Walker também conduz fluxos de ar longitudinais (leste - oeste) sobre o Oceano Índico e o Oceano Atlântico equatorial (LIMBU, 2019), conforme a Figura 2.

Além das circulações atmosféricas descritas acima, há também circulações oceânicas associadas à circulação de Walker. À medida que a água quente do oceano próximo à superfície é empurrada de leste a oeste, a água mais fria ao longo da costa leste do Pacífico sobe à superfície para preencher a lacuna, isso é chamado de ressurgência (NÓBREGA e SANTIAGO, 2016). Uma vez que a água mais fria atinge a superfície, ela também é escoada pelo Pacífico em direção à Ásia, aquecendo ao longo do caminho, como esquematizada na Figura 3.

Figura 3 - Interação entre a célula de Walker e o oceano Pacífico tropical



Fonte: STULL, 2015.

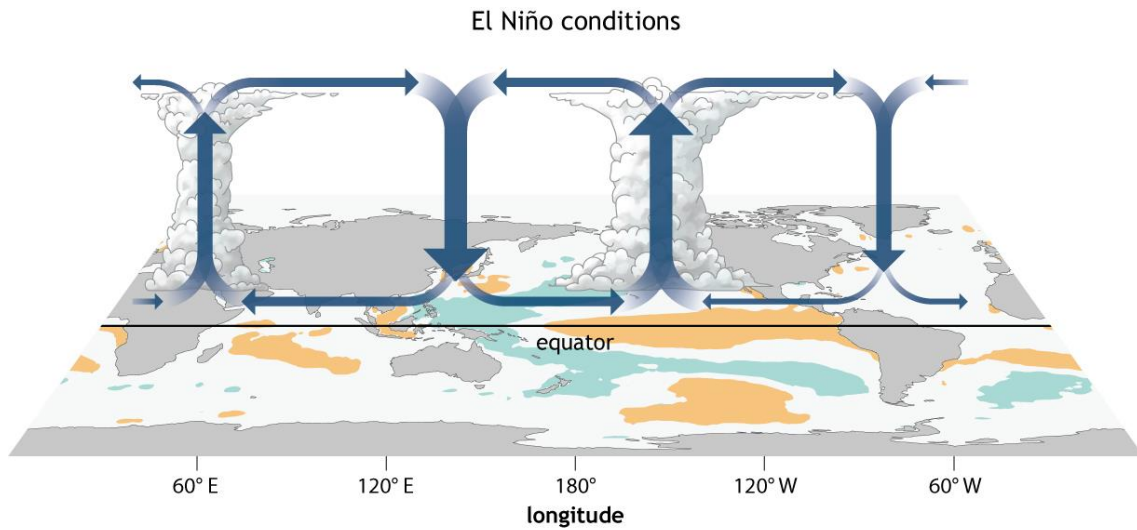
3.3.3 El Niño

Em períodos de EL (Figura 4) os ventos alísios enfraquecem, causando uma diminuição no acúmulo de água quente no Pacífico Oeste, e de ressurgência das águas frias no Pacífico Leste (CUNHA, 1997; BERLATO e FONTANA, 2011), ocasionando uma diminuição na diferença de temperatura entre leste e oeste, o que reduz ainda mais os ventos alísios (NÓBREGA e SANTIAGO, 2016). O nível da superfície do mar desce a oeste e sobe até 25 cm próximo à costa da América do Sul. As mudanças na TSM, devido à grande extensão de abrangência zonal, modificam a circulação atmosférica tropical (NOAA, 2016).

A parcela de ar que, em condições normais ascende no Pacífico oeste e desce no Pacífico leste (Figura 2), passa a ascender no Pacífico central e descer no Pacífico oeste e norte da América do Sul reduzindo a precipitação nessas regiões (BERLATO e FONTANA, 2011). Quando ocorre EL, o aquecimento das águas do Pacífico Leste, em geral, inicia no outono, atinge o máximo no verão e dura, aproximadamente, um ano. Entretanto, a intensidade do fenômeno, sua evolução e duração, variam de evento para evento. É um fenômeno não cíclico, cuja maior frequência de ocorrência, em intervalos irregulares, varia de três a sete anos (BERLATO e FONTANA, 2011; NOAA, 2016).

Na Figura 2, observamos a circulação zonal terrestre, sobe influência deste fenômeno. Agora, por conta do aquecimento anômalo no pacífico tropical (Figura 4), o ramo ascendente acontece nesta região central, forçando subsidência ao seu redor, isto é, na região da Austrália e América do Sul, afetando assim toda a circulação zonal do planeta.

Figura 4 - Representação da célula de Walker em condições de El Niño

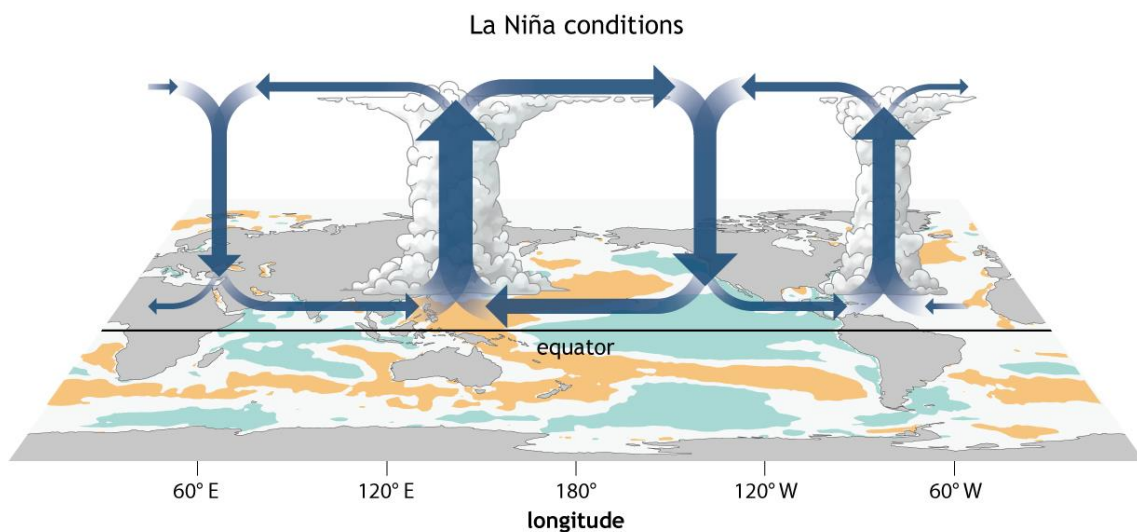


Fonte: NOAA.

3.3.4 La Niña

Em períodos sob domínio da LA, há uma elevação das condições normais do oceano e da atmosfera na região tropical do Oceano Pacífico (Figura 5). Os ventos alísios são intensificados, o que acarreta um aumento no escoamento das águas quentes para leste e no ressurgimento das águas frias no Pacífico Leste. Os gradientes da TSM tendem a se intensificar, o que, por sua vez, auxiliam a intensificação dos ventos alísios (COLLINS, 2010; BERLATO e FONTANA, 2011; NOAA, 2016).

Figura 5 - Representação da célula de Walker em condições de La Niña



Fonte: NOAA.

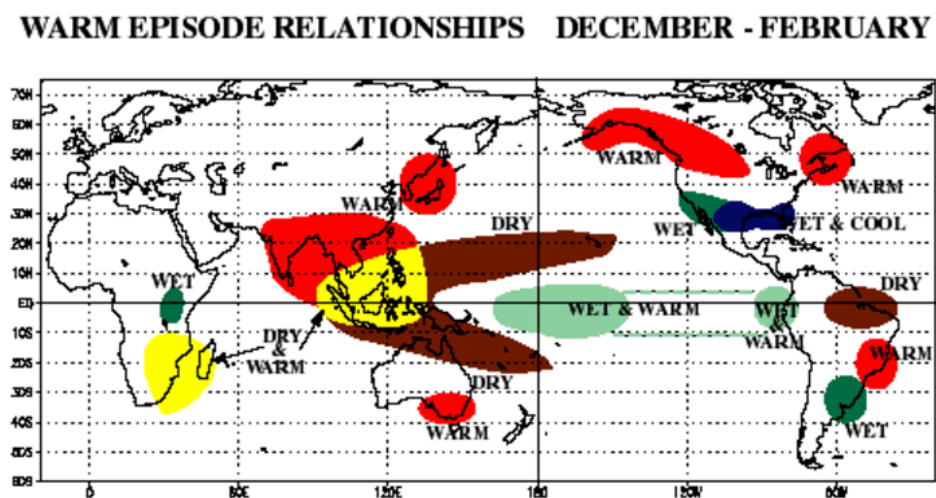
A ocorrência do fenômeno ENOS provoca inúmeras alterações climáticas na região tropical e, também, em várias regiões do planeta. Tais alterações são consequência da adição de grandes quantidades de energia, a qual é dissipada através de ondas de calor que se propagam em percursos preferenciais na atmosfera (SOUSA, 2006; SLEIMAN, 2008; SANTOS, 2008; BERLATO e FONTANA, 2011).

Na região sudeste da América do Sul, as ondas de calor podem intensificar a corrente de jato subtropical, apresentando ventos que escoam na região subtropical de oeste para leste, localizado a aproximadamente 10 km de altitude. A corrente de jato intensa provoca bloqueios atmosféricos, induzindo que as frentes frias fiquem semi-estacionárias sobre o extremo sul do Brasil, causando precipitação acima da média (SLEIMAN, 2008; BERLATO e FONTANA, 2011).

3.4 EFEITO DO ENOS NO BRASIL

O Brasil por ser um país de grande extensão territorial e demasiadamente afetado pelo ENOS, apresenta diversas alterações meteorológicas ao longo do seu território. Quando há a presença de EL, há uma diminuição de precipitação no norte e nordeste do Brasil, porém há um aumento no sul do país (BERLATO, 1997). Já sob influência de LA, os efeitos são opostos, há um aumento da precipitação no norte e nordeste do Brasil, e uma diminuição no sul, como representado pela Figura 6.

Figura 6 - Efeitos do El Niño no Brasil e no mundo



Fonte: NOAA.

Segundo os autores Fontana e Berlato (1997) e Radin et al. (2017), há relevantes alterações na climatologia da precipitação durante eventos de ENOS no Rio Grande do Sul. Na fase quente do fenômeno (EL), é observada a ocorrência de precipitação superior à média climatológica em quase todos os meses do ano, mas especialmente na primavera e verão. Em períodos correspondentes a atuação da LA, o estado do Rio Grande do Sul apresenta o regime pluviométrico abaixo da média climatológica. Em relação a distribuição espacial da influência do fenômeno no estado, os autores de Fontana e Berlato (1997) concluem que a região oeste do estado sofre maior influência do fenômeno.

É importante ressaltar que as áreas que apresentam maiores influências do ENOS sobre a precipitação no estado do RS são exatamente onde a agricultura tem também grande expressão (FINGER e WAQUIL, 2013), o que enfatiza a importância de um maior detalhamento e quantificação da influência desse fenômeno, visto que, possivelmente, seja a agricultura a maior beneficiária deste tipo de informação.

3.5 ÍNDICE ENOS MULTIVARIADO VERSÃO 2 (MEI.V2)

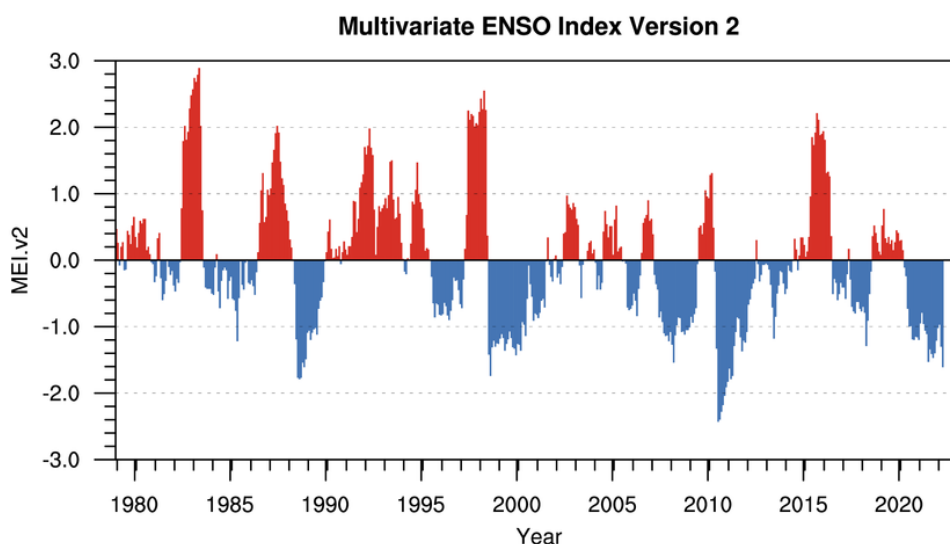
O *Multivariate ENSO Index Version 2* (MEI.v2), é um índice que combina variáveis oceânicas e atmosféricas, facilita em um único índice uma avaliação da ocorrência e intensidade do ENOS. Ele especialmente fornece indicações em tempo real da intensidade do ENOS e, por meio de análise histórica, fornece um contexto para um estudo comparativo significativo das condições em evolução (NOAA).

A MEI.v2 é a série temporal da principal Função Ortogonal Empírica (FOE) desenvolvida pela NOAA e que combina cinco variáveis diferentes, são elas: Pressão ao Nível do Mar (PNM), Temperatura da Superfície do Mar - TSM, componentes zonais e meridionais do vento de superfície e Radiação de Onda Longa - ROL sobre a bacia do Pacífico Tropical (30°S e 30°N e 100°L e 70°O). As FOEs são calculadas para 12 "estações" bimensais sobrepostas (de janeiro a dezembro) a fim de levar em conta a sazonalidade do ENOS, possuindo dados históricos de 1980 a 2022 (Figura 7).

As principais características de eventos MEI.v2 positivos compostos (El Niño) incluem: TSMs anormalmente quentes em todo o Pacífico equatorial centro-leste; PNM anormalmente alta sobre a Indonésia e o Pacífico tropical ocidental e PNM baixa sobre o Pacífico tropical oriental; redução ou reversão dos ventos de leste do Pacífico tropical (ventos alísios); convecção tropical suprimida (ROL positivo) sobre a Indonésia e Pacífico Ocidental e convecção

aumentada (ROL negativo) sobre o Pacífico central. As principais características dos eventos MEI negativos compostos são principalmente de fase oposta (La Niña).

Figura 7 - Valores históricos da MEI.v2



Fonte: NOAA.

O MEI.v2 expande o MEI original desenvolvido por Wolter e Timlin (1993) que foi calculado usando 6 variáveis para condições atmosféricas e oceânicas relevantes para o ENOS. Em MEI.v2, os campos de TSM, PNM e ventos zonais e meridionais de superfície são obtidos a partir da reanálise global do JRA-55 (KOBAYASHI et al. 2015). Em contraste, o MEI original (WOLTER e TIMLIN, 1993) usou observações de navios marinhos com base no *International Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set* (ICOADS) e usou temperatura do ar próximo à superfície, bem como TSM.

O MEI.v2 também usa observações de ROL da *NOAA Climate Data Record* (CDR), Versão 2.2-1 (disponível nos Centros Nacionais de Informações Ambientais da NOAA (NCEI)); enquanto o MEI original usou dados de fração de cobertura de nuvens do ICOADS. Para produzir o MEI.v2, todas as variáveis são interpoladas em uma grade comum de 2,5° latitude - longitude e as anomalias padronizadas são computadas em relação ao período de referência de 1980 a 2022.

Para a definição da intensidade do fenômeno ENOS segundo os valores obtidos pela MEI.v2, serão considerados, assim como utilizado para a metodologia apresentada em Trenberth (1997), que a intensidade do fenômeno ENOS é considerada forte quando a anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM) for superior a 1,5 °C em algum dos meses

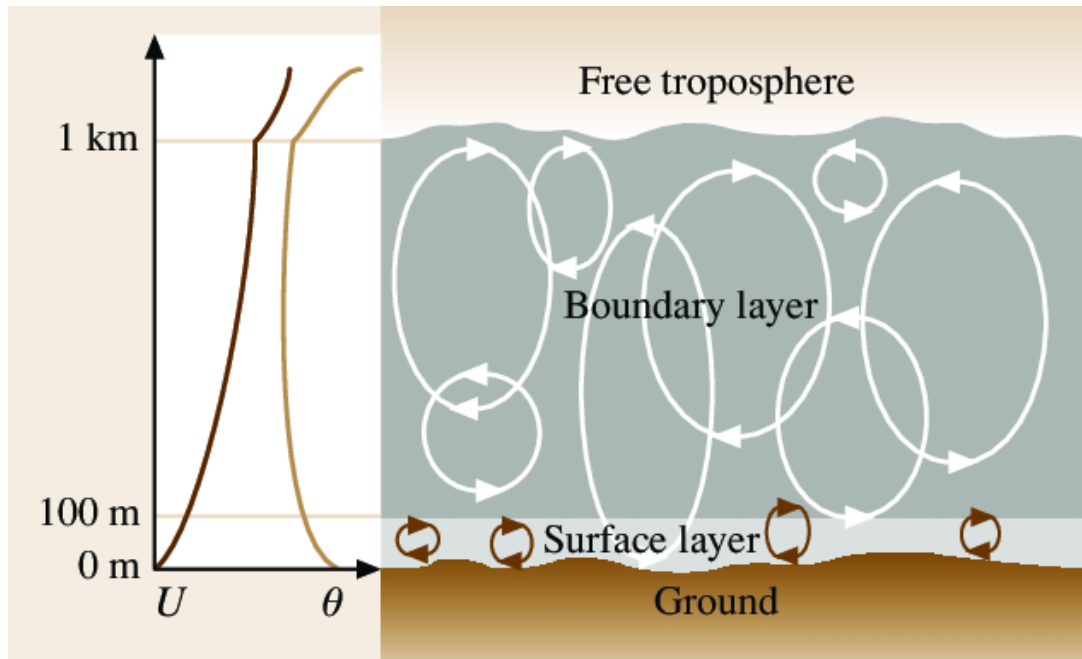
pertencentes à série, enquanto os episódios de intensidade moderada tiveram valores inferiores à 1,5 °C mas superiores à 1,0 °C, e por fim, os episódios de intensidade fraca são aqueles com valores inferiores à 1,0 °C mas superiores à 0,5 °C.

3.6 ESTIMATIVA DOS FLUXOS DE ENERGIA

A Camada Limite Planetária (CLP) é a região de contato entre a superfície e a atmosfera, a interação do vento com a superfície ocorre devido a forçante térmica ou dinâmica durante o dia e de seu resfriamento durante a noite por irradiação terrestre, produzindo assim um movimento caótico do ar conhecido como turbulência atmosférica (STULL, 1988). O transporte turbulento é o processo físico responsável por estes fluxos na atmosfera e é estudado principalmente na área da micrometeorologia (Figura 8). Para estimar os fluxos de gases entre a superfície e a atmosfera, pode-se utilizar covariância estatística entre as flutuações temporais da velocidade vertical do vento (SANTOS, 2010; RUBERT, 2013).

A turbulência atmosférica envolve vórtices sobrepostos de tamanhos variados. O tamanho dos vórtices pode variar de alguns milímetros até aproximadamente 3 km de diâmetro (STULL, 1988). Nas horas mais quentes do dia a CLP pode chegar a aproximadamente de 2 km de altura. Porém, durante o período noturno, com a formação da camada de inversão térmica provocada pelo resfriamento da superfície, caracterizada pela estabilidade com turbulência eventual ou contínua (OLIVEIRA, 1999), essa camada atua suprimindo a turbulência, de modo que a camada limite atinge algumas centenas de metros, dependendo da intensidade dos forçantes térmicas e mecânicas (MERGEN, 2022).

Figura 8 - Representação esquemática CLP diurna e estruturas turbulentas de vórtices. A curva à esquerda mostra a velocidade média do vento (U) e os perfis de temperatura potencial (θ)



Fonte: Adaptado de Keith Attenborough (2014).

3.7 TÉCNICA DE EDDY COVARIANCE (EC)

Para determinar a concentração de um gás na atmosfera, depende essencialmente da quantificação dos processos de emissão e absorção destes pela superfície. Desse modo, quantificar as emissões e absorções de um determinado gás é de fundamental importância para compreender suas variações de concentração na atmosfera. Dentre os métodos utilizados na micrometeorologia para medir os fluxos de gases na atmosfera, destaca-se o método direto de correlações turbulentas ou *Eddy Covariance* (EC). O método *Eddy Covariance* foi proposto por SWINBANK em 1951, onde podemos determinar os fluxos turbulentos de calor sensível (H) e latente (LE), através das seguintes equações (ARYA e HOLTON, 2011).

$$H = \rho_{ar} C_p \overline{\omega' T'} \quad (1)$$

$$LE = \rho_{ar} L_v \overline{\omega' q'} \quad (2)$$

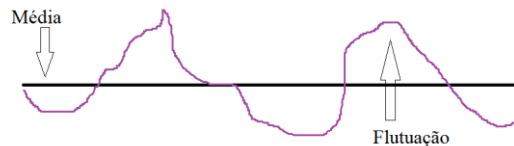
Em que sendo que ρ_{ar} é densidade do ar; C_p é o calor específico do ar à pressão constante; w' flutuações da velocidade vertical do vento; T' expressa o desvio em relação à média da temperatura do ar (K); L_v é o calor latente de vaporização, q' é o desvio em relação à média da umidade específica do ar (kg.kg-1).

A estimativa dos fluxos de gases entre a superfície do solo e a atmosfera pode ser realizada através de uma covariância estatística entre as flutuações temporais da velocidade vertical do vento com as flutuações temporais da concentração de gases (FIGUEIRA, 2012; ACOSTA, 2019). Segundo a decomposição de Reynolds, cada possível variável, em um dado instante t , pode ser decomposta por um valor médio ao longo do intervalo de tempo considerado e uma flutuação em relação a essa média, em que:

$$w = \bar{w} + w' \quad (3)$$

em outras palavras, a flutuação de uma variável é o desvio instantâneo de sua média (demonstrado na Figura 9). Por definição, a média das flutuações de qualquer variável é zero: $\bar{w}' = 0$, dado que as flutuações negativas são balanceadas com as flutuações positivas na média.

Figura 9 - Ilustração do conceito de flutuação e da média em uma variável aleatória



Fonte: Autor.

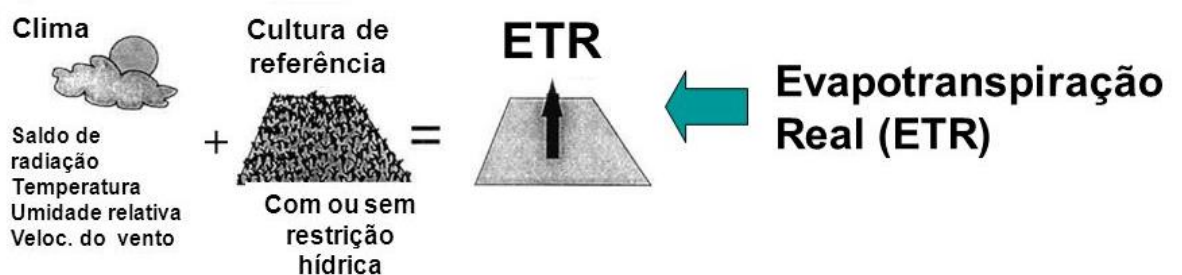
Tanto o fluxo de calor latente (LE), quanto o fluxo de calor sensível (H) são estimados utilizando a técnica EC, de acordo com a concordância do sinal, e tendo a atmosfera como referência, ambos os fluxos (LE e H) são positivos quando forem um fluxo de saída, da superfície para a atmosfera (a atmosfera ganha matéria ou energia) e negativos quando forem um fluxo de entrada direcionado para a superfície. A física por trás do método de *Eddy Covariance*, assim como a descrição e declaração das variáveis utilizadas são descritas de forma detalhada por ACOSTA (2019), em que também foi aplicado ao bioma Pampa brasileiro.

3.8 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

O processo físico responsável pelo transporte da água em forma líquida para a gasosa na atmosfera é denominado evapotranspiração (ET). A ET é a junção de dois processos:

evaporação, que ocorre em superfícies livres como oceanos, rios, lagos, a evaporação do conteúdo de água presente no solo e vegetação (que foi interceptada durante um evento pluviométrico) e a transpiração dos vegetais (FRANGOSO e FERREIRA, 2009; ATAÍDE, 2021). A esquematização da interação entre as condições atmosféricas com a evapotranspiração de um solo apresentando condições usualmente encontradas, ou seja, com ou sem restrições hídricas encontra-se na Figura 10.

Figura 10 – Representação da evapotranspiração em uma superfície com condições habituais



Fonte:

A evapotranspiração real (ET_r) é definida como a quantidade de água transferida para a atmosfera, por evaporação e transpiração, em condições reais de fatores atmosféricos e do solo. O conhecimento da ET_r de culturas e da vegetação nativas, em geral, é de fundamental importância em atividades ligadas a gestão de bacias hidrográficas, em modelagem meteorológica e hidrológica e, sobretudo, no manejo hídrico sustentável da agricultura irrigada. Em termos gerais, a ET possui um importante papel no ciclo hidrológico, no manejo do solo e avaliação das em condições climáticas (HELD e SODEN, 2000; BACELLAR, 2005; BEZERRA et al., 2008).

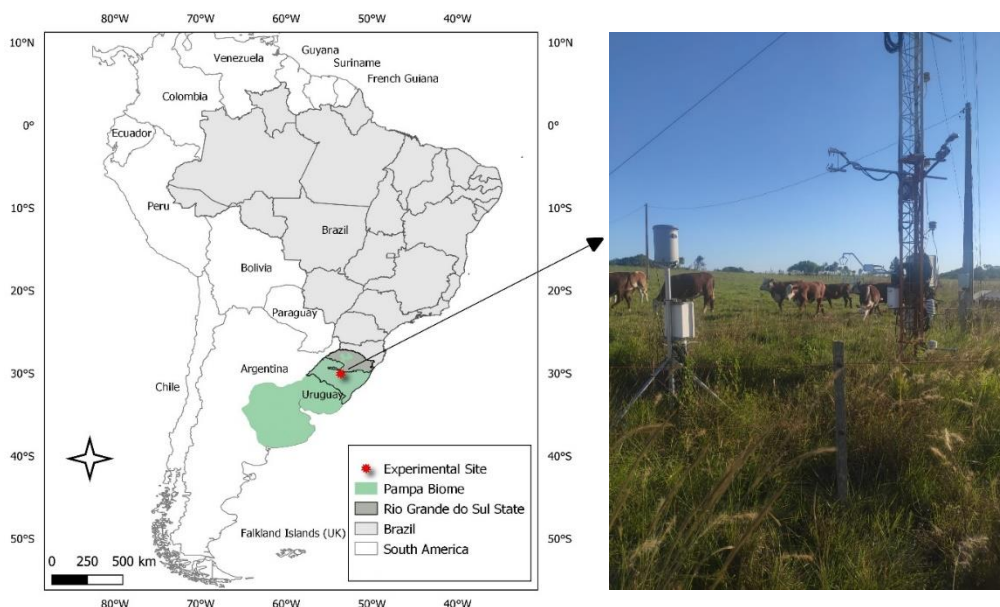
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 SÍTIO MICROMETEOROLÓGICO DE SANTA MARIA

O sítio experimental de Santa Maria (Figura 11), cujos dados foram utilizados nesse trabalho, encontra-se nas coordenadas geográficas de Lat 29°43'27,502''S e Lon: 53°45'36,097''O, com altitude de 88 metros, em uma área de aproximadamente 24 hectares de vegetação característica do bioma Pampa. O clima da região é classificado como temperado úmido com verão quente (cfa), de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1800 mm, bem distribuídos ao longo do ano.

Segundo o mapa exploratório de solos do Rio Grande do Sul, a composição do solo inserida no sítio de Santa Maria é classificada como *Planossolo Háptico Eutrófico*. A vegetação encontrada na área de estudo é utilizada como pasto para o gado de corte, sendo uma pastagem natural com predominância de *Andropogon lateralis*, *Axonopus affinis*, *Paspalum notatum*, e *Aristida laevis* (SANTOS et al., 2014; ACOSTA, 2019).

Figura 11 - Localização e uso e cobertura do solo do município de Santa Maria (RS)



Fonte: Autor.

No sítio de Santa Maria, os dados experimentais foram obtidos por torre de fluxo, localizada na Figura 11. A instrumentação da torre de fluxo para o sítio de Santa Maria está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis medidas, altura de instalação e modelo dos sensores instalados na torre de fluxo de Santa Maria

VARIÁVEL	ALTURA DA MEDIÇÃO	MODELO DO SENSOR
Componentes da intensidade do vento	3 m	Wind Master Pro /Gill Instruments
Concentração de vapor d'água e CO ₂	3 m	IRGASON (LI-COR)
Temperatura do ar	3 m	HMP155/Vaisala
Umidade Relativa do ar	3 m	HMP155/Vaisala
Precipitação	6 m	TR525USW/Texas Eletronics, Inc.
Saldo de Radiação	3 m	CNR4/ Kipp&Zonen
Temperatura do solo	-0,05 m	T108/Campbell Scientific
Conteúdo de água no solo	-0,1 m	CS 616/Campbell Scientific
Fluxo de energia na forma de calor no solo	-0,05 m	HFP01 (Hukseflux)

Fonte: Autor.

4.2 ESTIMATIVA DOS FLUXOS E SOFTWARE DE PROCESSAMENTO

O método *Eddy Covariance* foi aplicado aos dados obtidos em alta frequência (10 Hz) para a estimativa dos fluxos de energia H e LE utilizados neste estudo (BALDOCCHI et al., 1988; MONCRIEFF et al., 1997). Os fluxos turbulentos foram obtidos na torre de fluxo de Santa Maria em médias de 30 minutos utilizando o software EddyPro®, versão 6.1, Li-Cor (LI-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska, EUA). Neste software, são inseridos os dados de alta frequência obtidos pela torre de fluxo, declarando quais os sensores utilizados na obtenção dos dados, assim como dados de apontamento destes sensores, localização da torre de fluxo e dados de altura da vegetação local.

O método *Eddy Covariance* demanda de uma série de critérios de estabilidade e homogeneidade (AUBINET, 2012). No software EddyPro® estão implementadas amplas possibilidades de combinações de correções e ajustes com o intuito de obter um fluxo confiável (RUBERT et al., 2017). Neste trabalho, os fluxos foram obtidos com as seguintes configurações: cálculo das flutuações turbulentas em médias por bloco e rotação dupla e correção para os efeitos da densidade (RUBERT et al., 2017; WEBB et al., 1980).

A correção espectral de alta frequência foi embasada no uso de formulações matemáticas para modelar as propriedades de fluxo e espectrais que descrevem atenuações de fluxo devido à configuração instrumental (GASH e CULF, 1996). As correções filtro para alta e baixa seguiram a metodologia de Moncrieff et al. (2004) e Moncrieff et al. (1997), respectivamente. Os testes de qualidade nos fluxos seguiram a metodologia apresentada por Mauder and Foken, (2004). As correções do ângulo de ataque para as componentes do vento segundo a metodologia de Nakai e Shimoyama, (2012). E por último, para análises estatísticas, a remoção de spikes seguiu o método de Vickers e Mahrt (1997).

4.3 PREENCHIMENTO DE FALHAS

O surgimento de falhas em dados de alta frequência são comuns, sendo causadas por problemas como: falta de energia na instrumentação, substituição de equipamento, remoção devido a critérios do controle de qualidade, ocorrência de precipitação, entre outros. Para obter precisão nos valores mensais dos fluxos energéticos, é necessário o preenchimento destas lacunas. Os métodos usualmente utilizados para preencher dados ausentes são: *Mean Diurnal Variation* (MDV) (FALGE et al., 2001); *Look-Up Table* (LUT) (FALGE et al., 2001), *Regressão Não Linear* (NLR) (FALGE et al., 2001; NOORMETS et al., 2007); *Marginal Distribution Sampling* (MDS) (REICHSTEIN et al., 2005), modelo de imputação múltipla (HUI et al., 2004) e rede neural artificial (BRASWELL et al., 2005; SCHMIDT et al., 2008).

Para este trabalho, foi utilizado o pacote REddyProc (WUTZLER et al., 2018), que apresenta implementação de algumas das metodologias citadas acima para o preenchimento de dados ausentes. Deste modo, são utilizados dados meteorológicos como temperatura do ar, radiação global e déficit de pressão de vapor, para auxiliarem no preenchimento dos dados de fluxos. Por meio de uma combinação de LUT, *mean diurnal course* (MDC) e MDS, métodos descritos em (WUTZLER et al., 2018), o pacote identifica os dados ausentes nos fluxos e realiza uma busca por valores de fluxo em horários com dados meteorológicos similares, em janelas de tempo definidas (REICHSTEIN et al., 2005; WUTZLER et al., 2018).

4.4 BALANÇO DE ENERGIA

O balanço de energia em superfície, fundamentado pelo princípio de conservação da energia, é essencial em qualquer descrição teórica do sistema climático da Terra (GOMES, 2009). Pode ser avaliado localmente na escala do ecossistema, os fluxos de calor turbulentos,

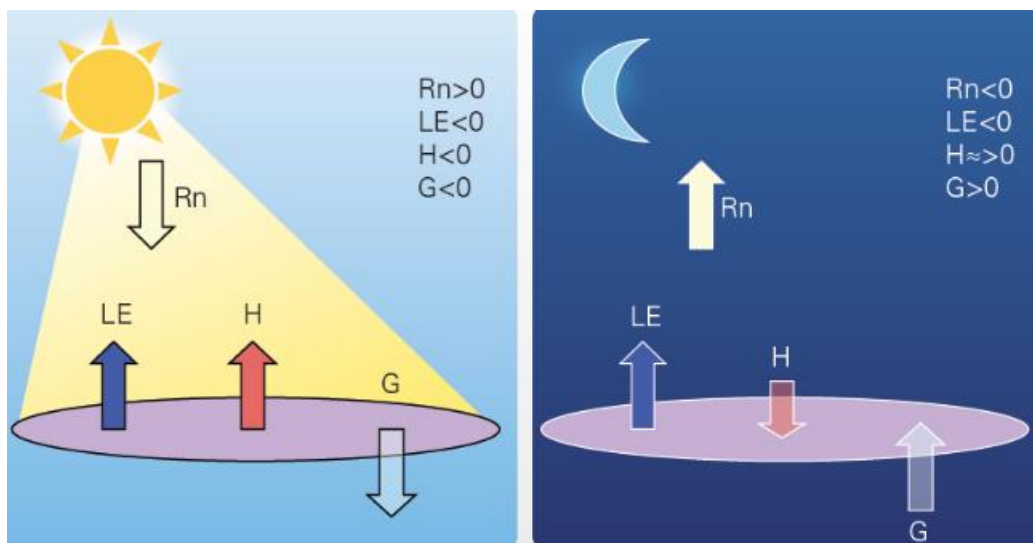
fluxo de calor do solo e radiação líquida precisam ser medidos independentemente (MAUDER et al., 2020), como descrito na equação 4:

$$R_n - F_g = H + LE \quad (4)$$

onde H é o fluxo de calor sensível, LE é o fluxo de calor latente, ambos os quais são estimados usando a técnica de *Eddy Covariance*, F_g é o fluxo de calor do solo na superfície, que pode ser quantificado por sensores do tipo placas de fluxo de calor no solo e R_n é a radiação líquida (ou saldo de radiação), que pode ser medida por um saldo radiômetro ou radiômetro líquido das quatro componentes.

Como convenção, as variáveis H e LE são positivos quando a transferência de energia ocorre no sentido superfície-atmosfera (H e LE) ou superfície para subsolo (F_g) e negativos no sentido inverso (Figura 12). Os lados direito e esquerdo em equação (2) são convencionalmente definidos como a energia disponível ($R_n - F_g$) e fluxos turbulentos ($H + LE$), respectivamente.

Figura 12 – Exemplo do balanço de energia para o caso de uma superfície úmida



Fonte: Adaptado Li-cor.

Este balanço é frequentemente utilizado como indicador da precisão das estimativas pelo método de EC (WILSON et al., 2001; CULF et al., 2004; LEUNING et al., 2005; FOKEN, 2008). Entretanto, no método *Eddy Covariance* esse balanço não apresenta fechamento exato. Segundo os autores Aubinet et al. (1999), demonstraram que o não fechamento total do balanço de energia é esperado, pois na contabilização dos resultados nem todas as trocas e processos envolvidos são considerados no sistema solo-planta-atmosfera.

Os autores Foken et al., (2012), enfatizam que o fenômeno do não fechamento do balanço de energia na superfície não é um problema técnico do método de EC, e depende de

características do sítio, como por exemplo a declinação do terreno e escoamentos superficiais. Este fenômeno é amplamente documentado na literatura e são considerados de boa confiabilidade de dados com até 30% de não fechamento (BARR et al., 2012; SÁNCHEZ et al., 2010).

Uma técnica amplamente utilizada para realizar o fechamento consiste na distribuição do resíduo do balanço de energia entre o H e o LE (TWINE et al., 2000; FOKEN, 2008). Esta distribuição é feita utilizando a razão de Bowen (B) (BOWEN, 1926) na escala horária, assumindo a condição de similaridade ente fluxos, onde:

$$B = \frac{H}{LE} \quad (5)$$

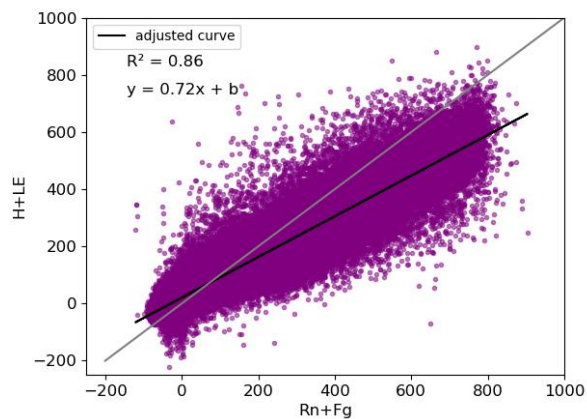
usando a equação (2), isolando os termos (H ou LE) substituindo na equação (3), desta forma encontramos as relações corrigidas para os fluxos de calor sensível (H^*) e latente (LE^*):

$$H^* = \frac{B(Rn-Fg)}{1+B} \quad (6)$$

$$LE^* = \frac{(Rn-Fg)}{1+B} \quad (7)$$

na Figura 13, mostra-se a relação entre os fluxos turbulentos e a energia disponível para o sítio de Santa Maria, que apresentou um coeficiente angular da regressão linear de 0,72 e um r^2 de 0,86.

Figura 13 - Fechamento do balanço de energia no sítio de Santa Maria



Fonte: Autor.

4.5 MÉTODO MICROMETEOROLÓGICO

O fluxo de LE pode ser considerado como uma medida da ETr de um ecossistema. Neste trabalho, a ETr diária (em mm/d) foi estimada a partir da média diária do fluxo de energia na forma de LE (estimado pelo método *Eddy Covariance*), em W/m², utilizando o fator de conversão 0.0353. Para obter este fator consideramos a energia utilizada para o processo de vaporização ($Q [J]$) por um corpo de água de massa $m [kg]$:

$$Q = m L_v \quad (8)$$

sendo L_v o calor latente de vaporização em unidades de J/kg. Considerando que esta energia está sendo transferida por unidade de área, A , e unidade de tempo, t , é um fluxo, a eq. (x) pode ser escrita como:

$$\frac{Q}{\Delta A \Delta t} = \frac{m}{\Delta A \Delta T} L_v \quad (9)$$

Considerando $LE = \frac{Q}{\Delta A \Delta t}$ e sendo $\rho = m/\Delta V$ e $\Delta V = \Delta A \Delta z$, temos:

$$LE = \frac{\rho \Delta z}{\Delta T} L_v \quad (10)$$

Isolando Δz :

$$\Delta z = \frac{\Delta t}{\rho L_v} LE \quad (11)$$

Considerando Δz a altura de um m² de lâmina d'água a ser evaporada, E , a densidade da água, $\rho = 1000 \text{ kg / m}^3$, $L_v = 2,45 \times 10^6 \text{ J/k}$ e o intervalo de 1 dia, $\Delta t = 86400\text{s}$.

$$E = LE \frac{86400}{1000 * 2,45 \times 10^6} LE \quad (12)$$

assim

$$E = 3,53 \times 10^{-5} LE [m/d] \quad (13)$$

ou em unidade de mm/d :

$$E = 0,0353 LE [mm/d] \quad (14)$$

Portanto

$$ETr = a * LE \quad (15)$$

onde $a = 0,0353$ é o fator de conversão de W/m² para mm/d.

4.6 MÉTODO PENMAN-MONTEITH

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estabelecida com o objetivo de representar apenas influências climáticas na estimativa da evapotranspiração. Desta forma, ela se torna relevante para o planejamento de irrigação ou estudos voltados para as áreas das geociências e agrárias. É uma estimativa de fácil obtenção, pois geralmente seu cálculo utiliza variáveis comumente medidas, tais como temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento (PENMAN, 1948; THORNTHWAITE, 1948; PRIESTLEY e TAYLOR, 1972; HARGREAVES, 1974; SOUSA, 2010).

Com o objetivo de padronizar os cálculos de ET_o, a *Food and Agriculture Organization* (FAO) propôs o método de Penman-Monteith, que incorpora aspectos termodinâmico e aerodinâmico da cultura, como modelo padrão para quantificar a demanda atmosférica de evapotranspiração. Este método, que tem sido amplamente utilizado em todo o mundo (SILVA, 2004; SILVA et al., 2005; BORGES e MENDIONDO, 2007; SANTOS, 2010), sendo estabelecido para uma cultura hipotética de gramíneas com as seguintes características: resistência estomática de 70 s m⁻¹, altura da cultura hipotética fixada em 0,12 m e albedo de 23% e sem restrição hídrica (ALLEN et al., 1998; MARINHO, 2014).

Atualmente o método considerado padrão para se estimar a ET_o é o de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998). Para a estimativa de ET_o pelo método de Penman-Monteith-FAO, utiliza-se a seguinte expressão (Equação 16):

$$ET_o = 0,408 \Delta (Rn - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273} \quad (16)$$
$$\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)$$

em que: Δ é a declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (kPa); Rn é o saldo de radiação diário (MJ m⁻²); G é o fluxo total diário de calor no solo (MJ m⁻²); γ é o coeficiente psicrométrico (kPa); U_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m/s); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a pressão atual de vapor (kPa); e T é a temperatura média do ar (°C) em 2 m.

Em virtude de problemas nos dados correspondentes a 2019, 2020 e 2021 no sensor de fluxo de calor no solo, foi determinado que esta variável, assim como descrito por Allen et al. (1998), que G pode ser considerado como zero, quando não houver medições disponíveis (ou apresentar problemas). Logo, neste trabalho, o G utilizado para o cálculo da ET_o foi considerado zero em todo o período. Em decorrência da altura do anemômetro da torre de fluxo

ser em 3 m, foi utilizado o fator de correção de altitude, também descrito por Allen et al. (1998), em que se multiplica por 0,921 para um sensor inserido neste nível, para adaptação no cálculo desta variável. Os valores de Rn, ea e es foram estimados pelo método *Eddy Covariance*.

4.7 DISPONIBILIDADE E SELEÇÃO DE DADOS NOS PERÍODOS NEUTROS E INFLUENCIADOS PELO ENOS

Os fluxos superficiais de energia foram estimados no sítio de Santa Maria de 2015 a 2021, neste mesmo período estão disponíveis as variáveis atmosféricas (Precipitação – Prec, Radiação global – Rg, Temperatura do ar – Tair, Pressão atmosférica – Pres, Umidade relativa – Rh, Déficit de pressão de vapor – VPD e velocidade do vento – Wind) e de solo (Temperatura do solo – Tsoil, Fluxo de calor no solo – Fg e conteúdo de água no solo – SWC). Os dados utilizados neste trabalho foram convertidos em médias mensais (com exceção da Prec, que foi feito um acumulado mensal) para analisar a influência do ENOS nestas variáveis. Além disso, foram calculadas as anomalias a partir da média sobre todo o período de dados e analisado em relação a variabilidade do ENOS.

Os dados disponíveis de ENOS da MEI.v2 são de 1980 a 2022. Porém, para este trabalho, foram utilizados apenas os períodos de dados disponíveis na estação micrometeorológica do sítio de Santa Maria, ou seja, de 2015 a 2021. Foram analisados um conjunto de variáveis para situações de EL, LA e neutralidade.

Tabela 2 - Recorte da série temporal da MEI.v2 utilizada para comparação das médias

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2015	0.2	0.1	0.1	0.4	1	1.9	1.7	1.9	2.2	2.1	1.9	1.9
2016	1.9	1.8	1.3	1.3	1.3	1.3	0.4	-0.5	-0.3	-0.6	-0.5	-0.3
2017	-0.4	-0.4	-0.6	-0.2	-0.2	-0.3	-0.7	-0.8	-0.8	-0.6	-0.6	-0.7
2018	-0.8	-0.7	-0.8	-1.3	-0.9	-0.5	-0.2	0.4	0.5	0.4	0.3	0.1
2019	0.1	0.5	0.8	0.3	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.4
2020	0.3	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.7	-1	-1	-1.2	-1.2	-1.1	-1.2
2021	-1.2	-0.9	-0.8	-1	-1.1	-1.1	-1.5	-1.3	-1.4	-1.5	-1.4	-1.2

Fonte: NOAA

Para verificar possíveis modulações do ENOS nos dados utilizados foram selecionadas 4 séries temporais igualitárias de acordo com a indicação da MEI.v2 demonstrado na Tabela 2, assim temos:

- a) julho de 2015 a maio de 2016 = EL;

- b) julho de 2017 a maio de 2018 = LA fraco/moderado;
- c) julho de 2018 a maio de 2019 = Neutro (NE);
- d) julho de 2020 a maio de 2021 = LA forte/intenso.

Além do período de 11 meses (julho a maio), também serão analisados apenas os meses mais afetados pelo ENOS no sul do Brasil, outubro, novembro e dezembro, período da primavera no Hemisfério Sul (HS), como identificado nos trabalhos de Fontana e Berlato (1996), Grimm et al. (1996), Cunha (1999) e Vera et al. (2004).

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise dos resultados foi realizada através dos índices estatísticos: o coeficiente de correlação e o coeficiente de determinação. O coeficiente de correlação (r) entre duas variáveis se dá quando uma delas está relacionada com a outra. O r é calculado para dados amostrais, ou seja, é uma estatística amostral. Assim:

- a) o valor de r é limitado entre -1 e 1, isto é, $-1 \leq r \leq 1$;
- b) o valor de r não varia se todos os valores de qualquer das variáveis são convertidos para uma escala diferente;
- c) o valor de r não é afetado pela escolha da variável nomeada x ou y ;
- d) r mede a intensidade de um relacionamento linear. Não serve para medir a intensidade de um relacionamento não linear, ou melhor, um valor pequeno de r não descarta uma relação não linear;
- e) S_x e S_y representam o desvio padrão, respectivamente, das variáveis x e y .

O coeficiente de correlação (r) mede o grau de relacionamento linear entre valores emparelhados x e y de uma amostra, em que:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y - \bar{y})^2}} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}}\sqrt{S_{yy}}} \quad (17)$$

que também pode ser escrito como:

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} = \frac{(\sum xy) - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\sum x^2) - n\bar{x}^2} \sqrt{(\sum y^2) - n\bar{y}^2}} \quad (18)$$

onde n é o número de pares (x,y) .

O coeficiente de determinação (r^2): valor da variação de y que é explicado pela reta de regressão, é basicamente o coeficiente de correlação ao quadrado, como mostrado na equação 10.

$$R^2 = r^2 = \frac{\Sigma(\hat{y} - \bar{y})^2}{\Sigma(y - \bar{y})^2} = \frac{\text{variação explicada}}{\text{variação total}} = \frac{S_{xy}^2}{S_{xx} S_{yy}} \quad (19)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A sazonalidade das variáveis atmosféricas Precipitação – Prec (mm), Radiação global – Rg (W/m²), Temperatura do ar – Tair (°C), Pressão atmosférica – Pres (kPa), Umidade relativa – Rh (%), Déficit de pressão de vapor – VPD (kPa), Velocidade do vento – Wind (m/s) e as variáveis do solo Temperatura do solo – Tsoil (°C), Fluxo de calor no solo – Fg (W/m²) e conteúdo de água no solo – SWC (m³/m³) no período de estudo no sítio de Santa Maria, no bioma pampa brasileiro, são mostrados na Figura 14. Nota-se a variação sazonal evidente em todas as variáveis estudadas, exceto a Prec, pois diferentemente das demais regiões do Brasil, a região sul em decorrência da entrada frequente de frentes frias, possui uma homogênea distribuição temporal de chuvas, como também visto por Cera e Ferraz (2007).

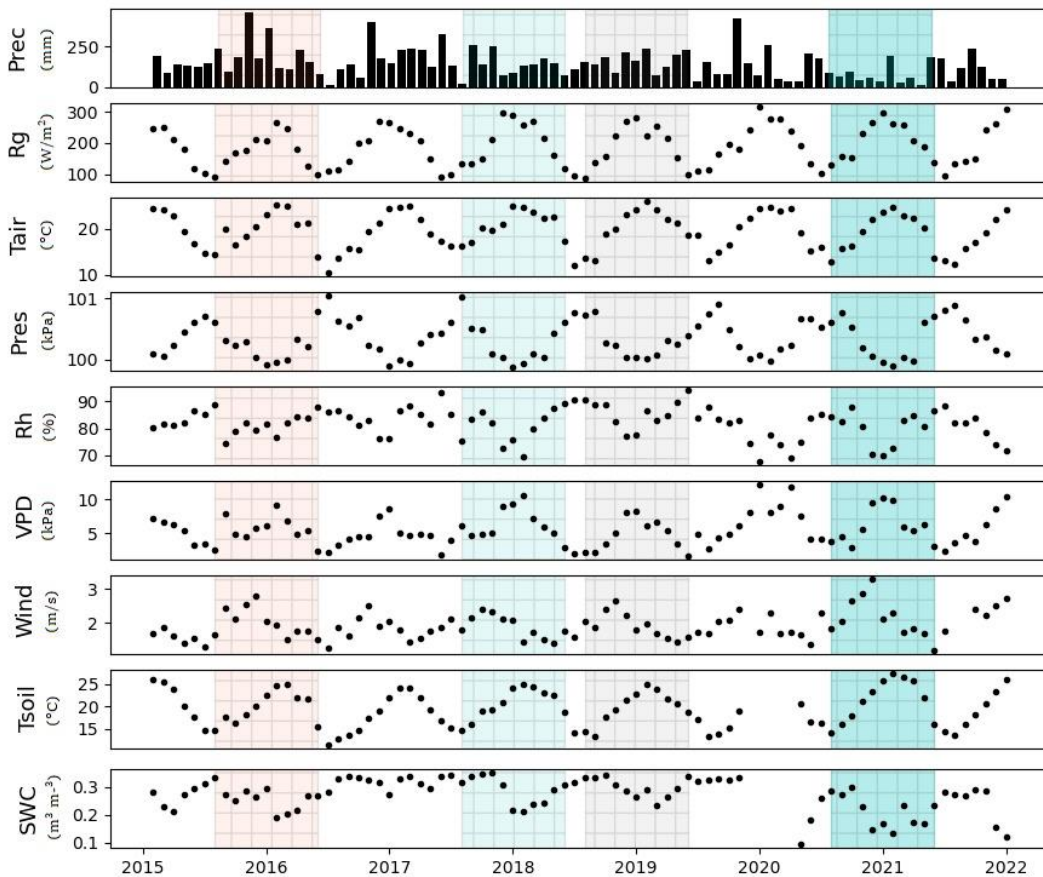
O Rg apresenta sazonalidade por conta da diferente magnitude (ou intensidade) radiativa nos períodos de inverno e verão. Assim, obtém valores médios mensais em torno de 250 W/m² no período correspondente a primavera e verão do hemisfério sul (entre setembro e março) e com valores em torno de 110 W/m² no período correspondente ao outono e inverno do hemisfério sul (período entre março e setembro). Como esperado, a Tair apresenta os maiores valores em períodos de verão no HS, com média em torno dos 24 °C e menores valores no inverno com médias mensais em torno dos 14 °C. A variável Pres é altamente influenciada pela Tair (variação inversa), em vista disso, apresenta os menores valores (média de 100 kPa) no período de verão e primavera e maiores valores no outono e inverno (média de 101 kPa).

A Rh apresenta os maiores valores no período de inverno do HS (90% em média) e menores no verão (70% em média). Nota-se uma sazonalidade evidente e comportamento inversamente proporcional ao VPD. O VPD é a diferença entre a quantidade de umidade no ar (pressão parcial de vapor) e quanto de umidade o ar retém quando está saturado (pressão de vapor de saturação), em outras palavras, VPD mede os níveis de poder de secagem que o ar tem sobre a superfície. Em vista disso, o VPD apresenta os maiores valores nos períodos mais quentes da região (em torno de 10 kPa) e menores nos períodos mais frios (em torno dos 5 kPa).

Assim como observado por HELDWEIN et al. (2003), a velocidade do vento é maior nos períodos de primavera e verão (com médias de 2,5 m/s), por conta dos maiores gradientes de temperatura proporcionados pelo maior aquecimento da atmosfera, e menores valores no período de outono e inverno (com médias de 1,5 m/s). Assim como discutido por Costa e Lyra, (2021), as maiores médias da velocidade do vento se deram próximas do início e do final do

ano, o que tem relação com o maior aquecimento (verão no HS), e consequente aumento dos gradientes de pressão, o que faz com que a velocidade do vento aumente. A temperatura média do solo, assim como a T_{air} , apresenta os maiores valores no verão do HS, em torno de 24 °C e menores valores no inverno do HS, em torno dos 14 °C. Assim como o T_{soil} , o F_g possui uma variação semelhante, com os maiores valores no verão do HS (4 W/m² em média) e menores no inverno (-4 W/m²). O SWC é maior no inverno (em média 0,3 m³/m³) e menor no verão (em média 0,2 m³/m³), apresentando assim comportamento semelhante a R_h e oposto ao VPD.

Figura 14 - Variáveis ambientais no período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2021 no sítio de Santa Maria. Os períodos destacados em vermelho representam o período de dados sob influência do EL; em azul claro, o período sob influência da LA 2017/2018, em cinza o período neutro (NE); em azul, o período sob influência da LA 2020/2021

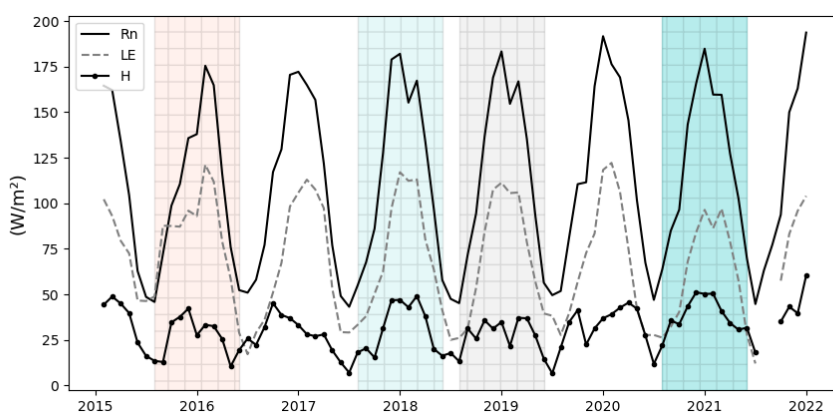


Fonte: Autor.

Assim como as variáveis ambientais vistas na Figura 14, os fluxos energéticos no sítio experimental de Santa Maria (Figura 15), apresentam uma variabilidade sazonal bem definida, com R_n apresentando valores em torno de 160 W/m² na primavera/verão e 60 W/m² no

outono/inverno, LE com valores em torno de 110 W/m² na primavera/verão e 40 W/m² no outono/inverno e H em torno de 50 W/m² na primavera/verão e 20 W/m² no outono/inverno. De modo geral, apresentam os maiores valores no período de verão do hemisfério sul, assim como observado por Rubert et al. (2017). O comportamento desses fluxos é influenciado pela intensidade radiativa, assim como visto no Rg.

Figura 15 - Fluxos de energia no período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2021 no sítio de Santa Maria. Os períodos destacados em vermelho representam o período de dados sob influência do EL; em azul claro, o período sob influência da LA 2017/2018, em cinza o período neutro (NE); em azul, o período sob influência da LA 2020/2021.



Fonte: Autor.

5.2 ANOMALIA DEVIDO AO FENÔMENO ENOS

5.2.1 Anomalias mensais das variáveis atmosféricas

Para identificar a influência do ENOS na região, foram calculadas as anomalias das variáveis ambientais em relação à média no período de estudo. Na Figura 16, encontra-se valores de anomalia das variáveis atmosféricas da torre de fluxo de Santa Maria. A Prec apresentou elevados acumulados no período da primavera e verão em 2015 (em torno de 150 mm de anomalias positiva mensais), período este sob influência do EL. Em período de LA fraco (2017/2018), nota-se uma tendência negativa dos valores de anomalia diante dos efeitos da LA nessa região (uma redução mensal em torno dos 20 mm). Em período NE, o comportamento dessa variável não apresenta uma predominância acentuada, característico de um período sem influência do modulador climático. Já na LA 2020/2021, observa-se valores negativos acentuados (redução mensal de até 190 mm) dessa importante variável meteorológica,

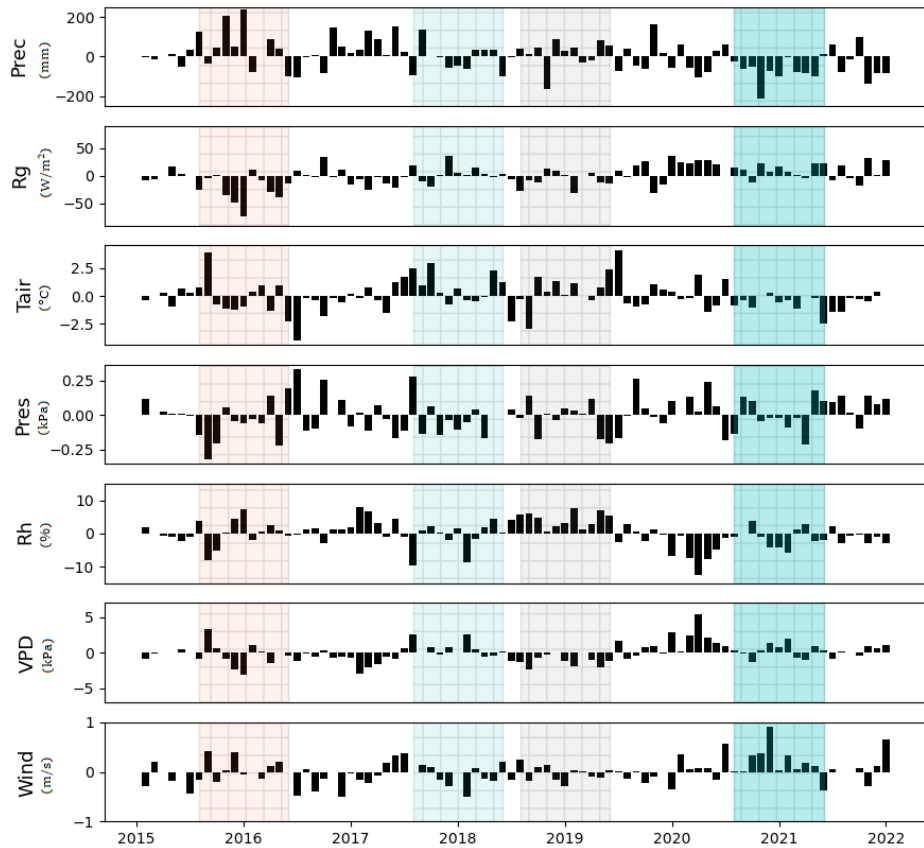
indicando a forte relação do ENOS com a Prec na região sul do Brasil, assim como encontrado pelos autores Grimm et al. (1996), Kayano e Moura (2018), Fontana e Berlato (1997), Cavalcanti (1996).

O Rg, assim como a Prec, apresenta evidente variação em período de ENOS, visto que o EL acarreta o aumento da precipitação e conseqüentemente, o aumento da cobertura de nuvens, dificultando a chegada da radiação incidente na superfície (com valores anômalos mensais em torno dos 40 W/m² negativos). Em contrapartida, os anos em que ocorreram a La Niña, os valores de Rg são os mais elevados, com destaque para a LA no 2020/2021 (com valores mensais positivos de até 10 W/m²) e nos anos de LA 2020/2021 (com valores mensais positivos de até 20 W/m²). O período NE, o Rg mostrou-se inconclusivo (apresentando baixos valores negativos e positivos). A anomalia de Tair em período de EL mostrou-se variada e inconclusiva. Em período de LA fraco, nota-se uma tendência positiva dessa variável (valores anômalos de até 2 °C). Em período de LA forte, apresentou valor predominantemente negativo (valores mensais em torno de -0,5 °C).

A Pres apresentou inexpressivas anomalias predominantes em períodos de EL, NE e LA forte. Apenas a LA fraca mostrou uma maior tendência negativa dos meses inseridos nesse período (com valores anômalos em mensais em torno de -0,20 kPa). O Rh e VPD apresentaram variação semelhante, porém inversamente proporcional em período de ENOS, variação esta explicada na discussão da Figura 14. Em período do EL, o Rh e o VPD não expressaram uma predominância evidente, porém observa-se uma resposta aos valores anômalos de Prec nos meses de outubro a dezembro de 2015, causando o aumento da Rh (valores anômalos de até 5%) conseqüentemente, a diminuição do VPD (com valores anômalos negativos de até 3,5 kPa). Em período de LA fraco, nota-se que o Rh foi predominantemente negativo (médias mensais de até -6%) e o VPD positivo (médias mensais de até 2,5 kPa), resultados esperados por conta da natureza da LA. Em NE, observa-se que a Rh foi elevada (até 8%), porém sem influência do ENOS. Na LA 2020/2021, os valores mensais anômalos de Rh e o VPD ficaram inconclusivos.

Ainda na Figura 16, a variável velocidade do vento não expressou predominância visível na nos meses NE e sob domínio do EL, porém nota-se em período de LA fraco, valores anômalos mensais negativos (em torno de -0,5 m/s), indicando que nesse LA houve uma menor intensidade dos ventos em Santa Maria. Entretanto, em LA forte, o comportamento anômalo se inverte, agora com valores positivos de anomalia (com média mensal de velocidade de até 0,9 m/s), o que pode ser explicado pelo maior aquecimento da superfície proporcionado por esta influência.

Figura 16 - Anomalias das médias mensais nas variáveis atmosféricas, no período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2021 em Santa Maria. Os períodos destacados em vermelho representam o período de dados sob influência do EL; em azul claro, o período sob influência da LA 2017/2018, em cinza o período neutro (NE); em azul, o período sob influência da LA 2020/2021



Fonte: Autor

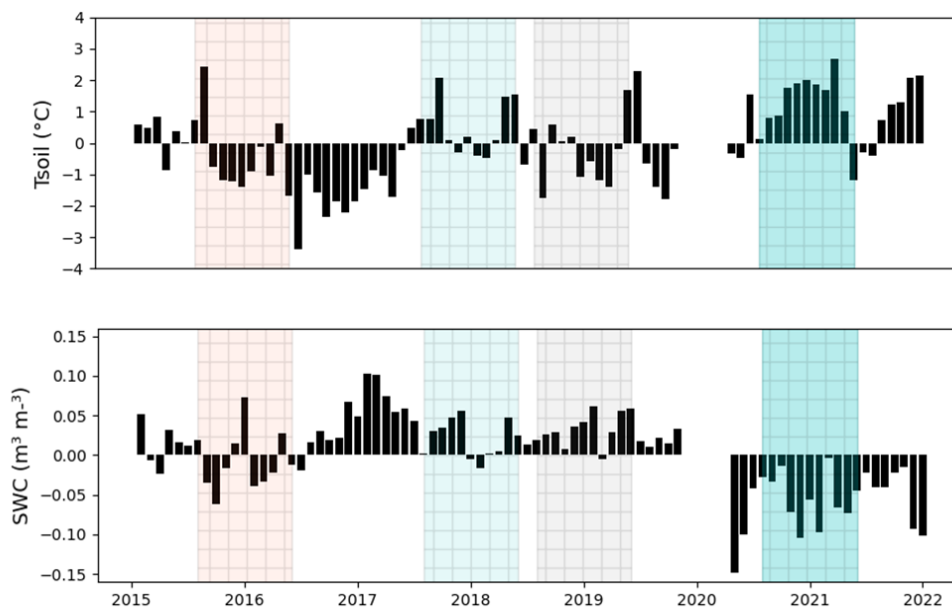
5.2.2 Anomalias mensais das variáveis do solo

Estudar o comportamento das variáveis do solo é importante quando se quer analisar o comportamento da ET em período de ENOS. A evaporação de água do solo é influenciada pela demanda evaporativa da atmosfera, condicionada pela disponibilidade de Rg, Tair, vento e Rh (ALMEIDA, et. al., 2011). Na Figura 17, a Tsoil apresenta forte variação decorrente da presença do ENOS, visto que, a presença de água no solo diminui amplitude térmica, não causando um maior aquecimento do solo úmido e pela energia (ou déficit) influenciada pelo ENOS. Comportamento este observado perante a valores anômalo negativos da Tsoil em período influenciado pelo EL (com médias mensais anômalas de -1 °C) e positivos de Tsoil em períodos dominados pela LA (valores mensais positivos de até 2,5 °C em ambas as LA). Em

período NE, houve uma predominância negativa desta variável, não sendo explicado pelo ENOS.

O SWC é consequência da infiltração, tipo de solo e do processo evaporativo da atmosfera e está relacionado com a ET de forma inversa. Em período de EL, o mês de dezembro de 2015 apresentou uma elevada anomalia positiva ($0,07 \text{ m}^3/\text{m}^3$), porém por conta dos valores inversos nos meses anteriores e posteriores, atrelar uma relação com o EL não se torna plausível nessa situação. Em LA fraco e NE, observa-se que os meses apresentaram anomalias predominantemente positivas (com valores mensais de até $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^3$), não sendo possível atrelar uma explicação em relação ao ENOS, mas em LA forte o inverso ocorre. Em decorrência do elevado R_g e diminuição das chuvas, o T_{soil} aumenta, e consequentemente o SWC é perdido para a atmosfera (valores mensais de até $-0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$), como mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Média das anomalias das variáveis do solo, no período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2021 em Santa maria. Os períodos destacados em vermelho representam o período de dados sob influência do EL; em azul claro, o período sob influência da LA 2017/2018, em cinza o período neutro (NE); em azul, o período sob influência da LA 2020/2021



Fonte: Autor.

5.2.3 Anomalias mensais dos fluxos de energia

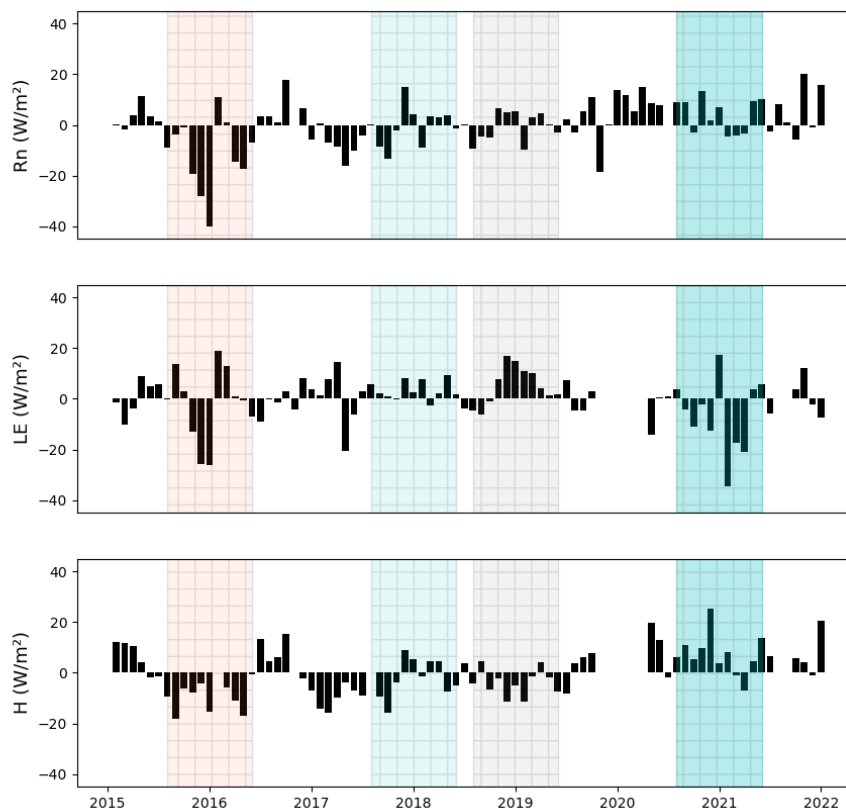
A radiação solar líquida (R_n) é a quantidade de energia disponível na superfície do solo para conduzir processos como aquecimento do ar, do solo, evaporação e fotossíntese, e é uma

variável fundamental no balanço de energia da superfície (DUBAYAH, 1992; OKE, 2000). Na quantificação e análise do comportamento da ET, é importante entender o comportamento dos fluxos energéticos nestas mesmas condições. Na Figura 18, mostra-se as médias mensais das anomalias destas variáveis.

O Rn apresentou uma predominância negativa nos meses sob influência do EL (com valores anômalos de até -40 W/m^2), motivos semelhantes ao discutido na variável Rg. No período de LA fraco e NE, os valores anômalos mensais são inconclusivos, não apresentando clareza na predominância desta variável. Em LA forte, observamos valores anômalos positivos com até 15 W/m^2 nos meses sob influência dessa fase do ENOS.

O LE apresentou tendência variada nos meses sob influência do EL, com valores de anomalia positivos de até 17 W/m^2 e negativos de até -25 W/m^2 . Em período sob influência de LA fraco, observa-se uma tendência positiva nos meses deste período, com valores em torno dos 5 W/m^2 . O período NE apresentou valores anômalos maiores que o visto em LA fraco, em torno dos 15 W/m^2 mensais. Em período de LA forte, os valores seguiram uma tendência negativa, visto que o déficit de umidade não favorece o aumento do LE. Porém o oposto ocorre com o H, com os valores positivos de anomalia em torno dos 15 W/m^2 mensais. O H apresentou uma totalidade negativa nas anomalias mensais sob influência do EL (valores mensais em torno dos -15 W/m^2). Em LA fraco, apresentou comportamento variável e inconclusivo. Em NE, os meses foram predominantemente negativos, com valores em torno dos -7 W/m^2 .

Figura 18 - Média mensal das anomalias das componentes do balanço de energia, período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2021 em Santa maria. Os períodos destacados em vermelho representam o período de dados sob influência do EL; em azul claro, o período sob influência da LA 2017/2018, em cinza o período neutro (NE); em azul, o período sob influência da LA 2020/2021



Fonte: Autor.

5.3 MÉDIA DAS ANOMALIAS DOS 4 PERÍODOS

Para observarmos os valores predominantes nos períodos neutros e de ENOS, utilizamos a média total dos períodos demarcados, assim, os valores considerados inconclusivos de predominância, terão um valor médio conclusivo de anomalia. Na Tabela 3, os valores médios das variáveis atmosféricas, do solo e os fluxos energéticos, encontram-se agrupados.

A Prec segue o padrão esperado do ENOS para a região do bioma pampa brasileiro, com anomalia positiva em período de EL (53,98 mm), e em período de LA fraco, sofre uma redução, apresentando anomalia negativa sob (-11,38 mm). Em período NE, apresenta um valor positivo de 17 mm e uma significativa redução de -70,12 mm em relação à média em período de LA 2020/2021. O Rg em período de EL, proporcionou uma redução de -24,07 W/m², a LA fraca obteve-se valor positivo de 4,92 W/m². Em período NE, houve uma redução, apresentando

predominância negativa de -7 W/m^2 . Em LA forte, houve o predomínio da anomalia positiva, com média de $9,85 \text{ W/m}^2$.

A Tair apresenta valor anômalo positivo em período de EL ($0,07 \text{ }^\circ\text{C}$), continuando positivo em LA fraco ($0,85 \text{ }^\circ\text{C}$) e NE ($0,40 \text{ }^\circ\text{C}$), e passa para negativo em LA forte ($-0,61 \text{ }^\circ\text{C}$). A Pres seguiu um aumento conforme os períodos, passou de $-0,06 \text{ kPa}$ em EL para $-0,02 \text{ kPa}$ em LA fraco, permanecendo com média anômala de $-0,02 \text{ kPa}$ em NE e obteve valor médio em 0 kPa , demonstrando que a pressão tende a aumentar em períodos mais secos na região. A Rh e VPD apresentaram anomalias inversamente proporcionais, como discutido anteriormente. Rh positiva em EL ($0,33\%$) e VPD negativo ($-0,36 \text{ kPa}$), Rh negativa ($-1,02\%$) e VPD positivo ($0,59 \text{ kPa}$) em LA fraco. Em período NE, ambas as variáveis apresentaram anomalia negativa (Rh $-0,64\%$ e VPD $-1,02 \text{ kPa}$). Em LA forte, a Rh ficou negativa ($-1,15\%$) e o VPD positivo ($0,27 \text{ kPa}$) por conta da menor frequência da Prec na região. A variável atmosférica vento não seguiu um comportamento linear em relação as fases do ENOS, tendo em vista que os maiores valores estão em EL e LA forte.

A Tsoil apresenta valor negativo no período total de EL ($-0,41 \text{ }^\circ\text{C}$), como discutido na Figura 14. Em LA fraco, o valor anômalo é positivo ($0,53 \text{ }^\circ\text{C}$). Em NE, a Tsoil apresentou valor negativo de $-0,30 \text{ }^\circ\text{C}$. Em LA fraco, a média anômala desta temperatura foi de $1,23 \text{ }^\circ\text{C}$. O SWC, mesmo com elevada umidade no período EL, apresentou valor negativo de $-0,01 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Em período de LA fraco e NE, apresentou valores positivos ($0,02$ e $0,03 \text{ m}^3/\text{m}^3$, respectivamente), porém voltou a ficar negativo em período de LA forte, com valor médio de $-0,05 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

A média dos períodos dos fluxos energéticos também encontram-se na Tabela 2. O Rn, apresentou valor negativo de $-11,59 \text{ W/m}^2$ em EL, permaneceu negativo em LA fraco e NE. Em LA forte, Rn ficou positivo. O LE foi negativo em EL ($-2,03 \text{ W/m}^2$), positivo em LA fraco e NE, e voltou a ficar negativo em LA forte. O H apresentou média total da anomalia para EL com valores negativos de $-8,68 \text{ W/m}^2$, permaneceu negativo (embora menos acentuado) em período de LA fraco e NE. Para o período de LA forte H foi positivo.

Ainda na Tabela 3, também foram calculadas as médias da ET real e ET de referência nestes períodos. Ambas foram negativas em período de EL. Em LA fraco, ambas apresentaram o mesmo valor médio de $0,10 \text{ mm}$ com anomalia positiva. Em NE, a ETr permaneceu positiva enquanto a ETo ficou negativa. Em LA forte a ET real (assim como o LE) foi negativa, enquanto que a ETo foi positiva. A possível causa para essa disparidade entre ETr e ETo deve-se a influência do ENOS nos dados de entrada para o cálculo da ETo (Rn, Rh, vento, Pres, Tair e Fg).

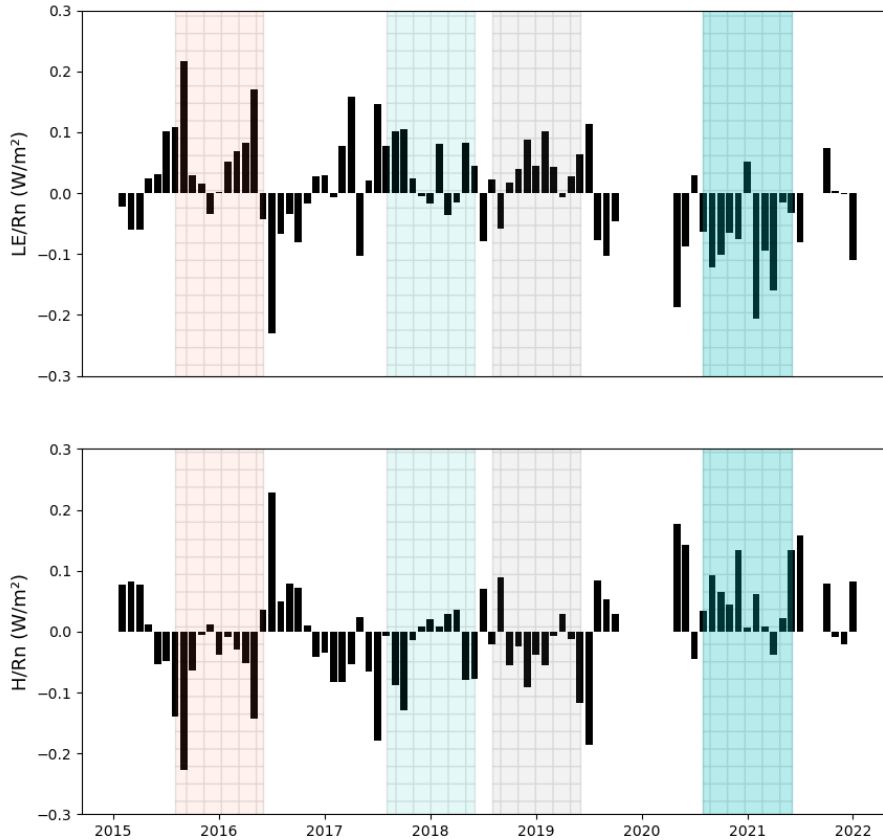
Tabela 3 - Média das anomalias das variáveis atmosféricas, do solo, dos fluxos de energia e vapor d'água nos períodos contínuos de ENOS em Santa Maria

variáveis	EL 2015 – 2016	LA 2017 - 2018	NE 2018 - 2019	LA 2020 - 2021
Prec (mm)	53,89 ↑	-11,38 ↓	17,0 ↑	-70,12 ↓
Rg (W/m ²)	-24,07 ↓	4,92 ↑	-7,0 ↓	9,85 ↑
Tair (°C)	0,07 ↑	0,85 ↑	0,40 ↑	-0,61 ↓
Pres (kPa)	-0,06 ↓	-0,02 ↓	-0,02 ↓	0,00
Rh (%)	0,33 ↑	-1,02 ↓	-0,64 ↓	-1,15 ↓
VPD (kPa)	-0,36 ↓	0,59 ↑	-1,08 ↓	0,27 ↑
Wind (m/s)	0,05 ↑	-0,07 ↓	-0,02 ↓	0,18
Tsoil (°C)	-0,41 ↓	0,53 ↑	-0,30 ↓	1,23 ↑
SWC (m ³ /m ³)	-0,01 ↓	0,02 ↑	0,03 ↑	-0,05 ↓
Rn (W/m ²)	-11,59 ↓	-0,45 ↓	-0,64 ↓	4,07 ↑
LE (W/m ²)	-2,03 ↓	3,45 ↑	5,10 ↑	-6,58 ↓
H (W/m ²)	-8,68 ↓	-1,71 ↓	-2,07 ↓	7,25 ↑
ETr (mm)	-0,07 ↓	0,10 ↑	0,18 ↑	-0,27 ↓
ETo (mm)	-0,22 ↓	0,10 ↑	-0,09 ↓	0,07 ↑

Fonte: Autor.

O comportamento anômalo mensal das variáveis de fluxo particionadas encontram-se na Figura 19. Observa-se uma tendência positiva do LE/Rn e negativa do H/Rn em período de EL, por conta da maior umidade neste período de influência do EL na região. Em LA fraco e NE o comportamento manteve-se semelhante ao encontrado em EL. Porém, em LA forte o LE/Rn apresentou um predomínio negativo, o comportamento inverso ocorre com o H/Rn, apresentando comportamento positivo na maior parte dos meses sobre influência do LA forte, devido que em período mais seco, a fração responsável pela mudança da temperatura é maior.

Figura 19 - Média mensal das anomalias de LE e H sobre Rn, no período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2021 em Santa Maria. Os períodos destacados em vermelho representam o período de dados sob influência do EL; em azul claro, o período sob influência da LA 2017/2018, em cinza o período neutro (NE); em azul, o período sob influência da LA 2020/2021



Fonte: Autor.

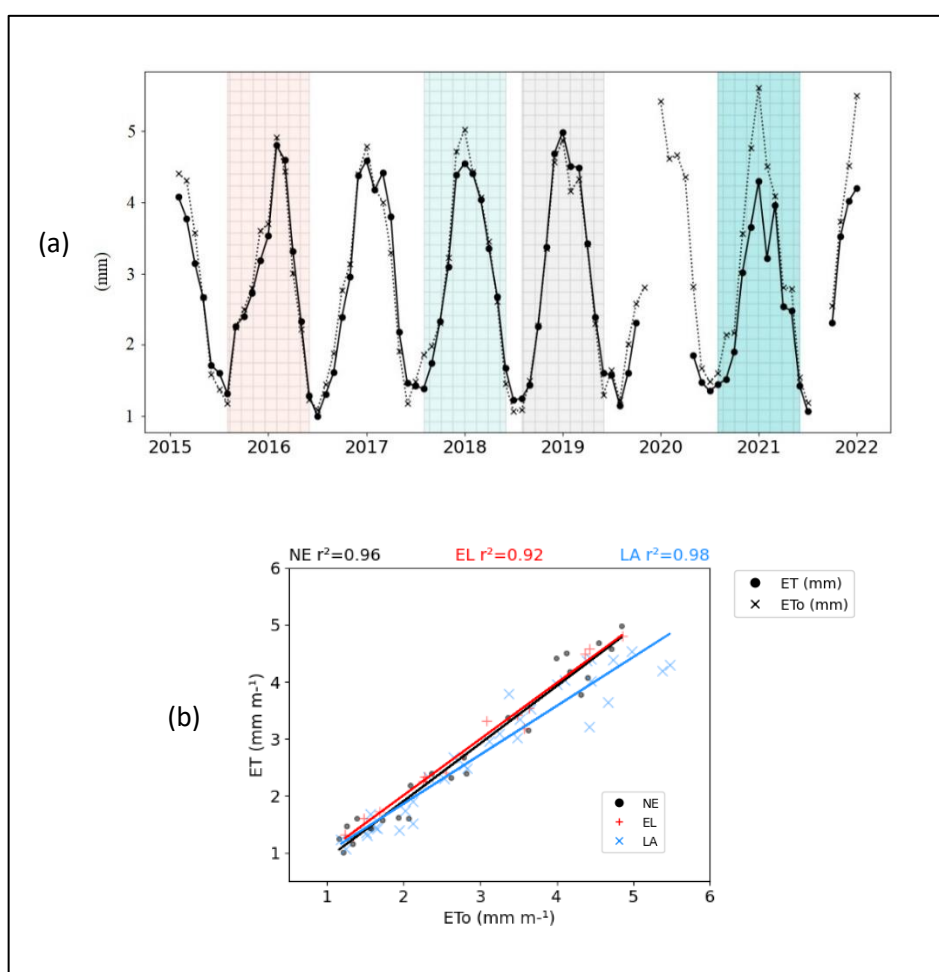
5.4 RELAÇÃO ENTRE ET E ETO NO BIOMA PAMPA

5.4.1 Comparação mensal entre ETr e ETo

A ET real foi comparada com a ETo obtida a partir dos dados da torre de fluxo do sítio de Santa Maria. As médias mensais (20a) e dispersão (20b) entre ETr e ETo são mostradas na Figura 20. Assim como encontrado por Rubert et al. (2017), a ETo apresenta valores semelhantes a ETr, indicando que o sítio de Santa Maria obteve uma boa disponibilidade hídrica. Em períodos de EL, a ETo manteve-se semelhante a ETr. Em períodos de LA, observa-se que no verão de 2018, 2020 e 2021, o máximo valor obtido nesses períodos apresentaram uma disparidade entre as variáveis, com a ETo evidentemente superior a ETr, principalmente nos anos de 2020 e 2021, no qual obteve-se uma predominância de LA forte. Essa disparidade

só é observada no período de primavera e verão, o inverno não apresenta um evidente distanciamento entre as duas variáveis. A ETr foi significativamente correlacionada com a ETo (Figura 20b), obtendo o r^2 de 0,96 em período NE, 0,92 em EL e 0,98 em LA.

Figura 20 - (a) Médias mensais e (b) diagrama de dispersão da ET real do bioma Pampa e da ET de referência, no sítio de Santa Maria. Os períodos destacados em vermelho (a) representam o período de dados sob influência do EL; em azul claro, o período sob influência da LA 2017/2018, em cinza o período neutro (NE); em azul, o período sob influência da LA 2020/2021. A linha de regressão vermelha (b) representa os períodos de EL; a azul representa os períodos de LA; A preta representa os períodos NE



Fonte: Autor.

Como observado na Figura 20a, a aproximação da ETr e ETo é maior em períodos de EL e NE, e díspares em períodos de LA. Agora, evidenciado pela Tabela 4, observa-se em números as médias totais dos períodos analisados. A diferença entre ETr e ETo em EL é de apenas 0,2 mm. Para o período de LA fraco temos uma diferença de 0,17 mm, com a ETo acima da ET. Apenas em período NE a ETr apresenta uma média superior a ETo, com diferença de

0,9 mm. E em LA forte, a ETo volta a prevalecer sobre a ET, apresentando a maior diferença entre os períodos analisados, com 0,52 mm de diferença.

Tabela 4 - Média dos períodos contínuos da ET e ETo sob influência de ENOS em Santa Maria

Variáveis	EL 2015 – 2016 Total	LA 2018 – 2019 Total	NE 2018 – 2019 Total	LA 2020 – 2021 Total
ETr (mm)	2,89	3,06	3,13	2,68
ETo (mm)	2,91	3,23	3,04	3,20

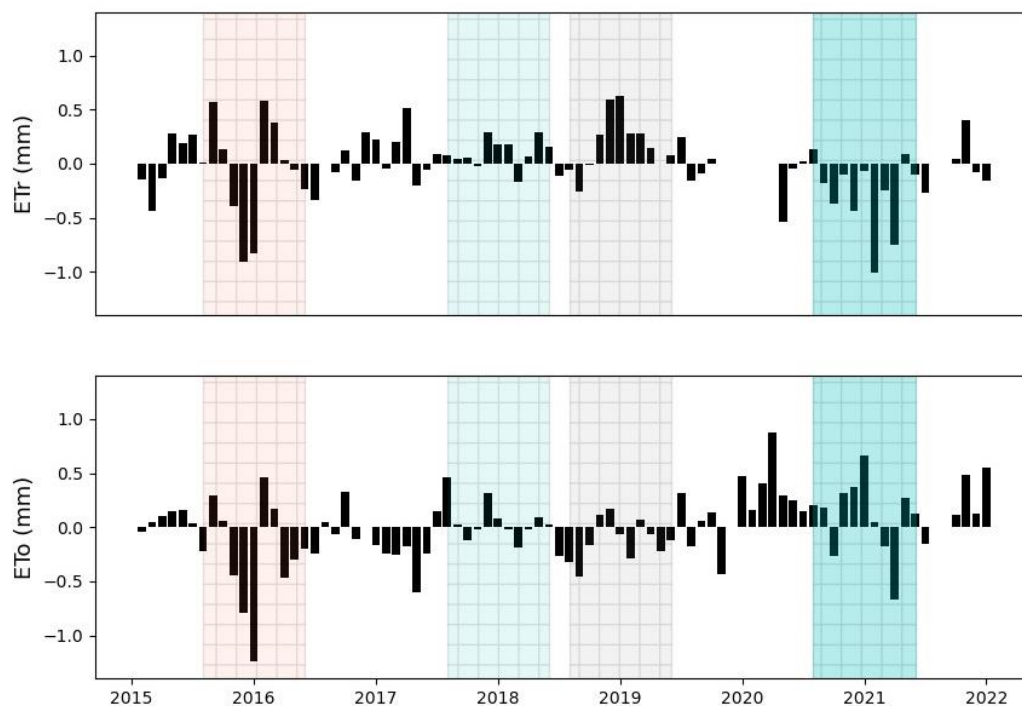
Fonte: Autor.

5.4.2 Anomalia da ETr e ETo

Na Figura 21, apresenta a média das anomalias mensais das variáveis ETr e ETo em Santa Maria. A ETr e ETo em período de EL apresentaram um comportamento intermitente no período, variando entre positivo e negativo no decorrer do EL (porém, nota-se valores acentuados de anomalias negativas em ambas as variáveis em alguns meses). No entanto, como já discutido na Tabela 2, mostrou-se que a média do período de EL, ambas as variáveis apresentaram valores negativos de anomalia (-0,07 mm de ETr e -0,22 de ETo), com a ETo apresentando o valor mais acentuado.

Em LA fraco, ambas apresentam um comportamento mais homogêneo, sendo predominantemente positivos (como mostrado na Tabela 3). Em período NE, a ETr apresenta anomalias positivas evidentes, porém na ETo, este comportamento não é claro, possuindo uma média negativa de apenas -0,09 mm como mostrado na Tabela 3. Em LA forte, a ETr apresenta predominância negativa, enquanto a ETo novamente apresenta variações mensais, sendo positivo na média do período (ver Tabela 3).

Figura 21 - Média mensal das anomalias da ETr e ETo, no período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2021, no sítio de Santa Maria. Os períodos destacados em vermelho representam o período de dados sob influência do EL; em azul claro, o período sob influência da LA 2017/2018, em cinza o período neutro (NE); em azul, o período sob influência da LA 2020/2021



Fonte: Autor.

As análises na ETr e ETo, como visto anteriormente, são importantes, pois os estresses abióticos como as secas e acidez do solo podem reduzir de forma considerável rendimentos no plantio, restringindo as áreas apropriadas e o tipo de solo onde culturas (ou pastagens) comercialmente importantes podem ser semeadas (FARIAS et al., 2007). As inferências na disponibilidade hídrica são demasiadas uma vez que, não somente os produtores agrícolas, mas toda a sociedade é afetada. Como a absorção de água pelas culturas depende, além do estágio do desenvolvimento e da disponibilidade hídrica, o consumo total tende a variar tanto em função das condições climáticas da região como da época de semeadura na mesma região climática (STEWART e NIELSEN, 1991; BERGAMASCHI et al., 1992; FARIAS et al., 2001). Segundo Berlato e Fontana (2011) as estiagens, essencialmente devidas à LA, são o fenômeno meteorológico causador dos maiores impactos negativos à produção agrícola do sul do Brasil.

5.5 ANOMALIA DAS VARIÁVEIS EM OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO

Segundo os autores Grimm et al. (1996), Fontana e Berlato (1996), Cunha (1999), Vera et al. (2004) e Rossato et al. (2005), os meses mais afetados pelo ENOS no sul do Brasil são os meses correspondentes a primavera do HS (outubro, novembro e dezembro). Para observar o comportamento das variáveis estudadas nesses meses de maior influência do fenômeno, utilizou-se na Tabela 4 as médias das anomalias dos meses de outubro a dezembro, em anos que apresentaram um sinal positivo (ou negativo) de ENOS e um neutro (EL 2015, LA 2017, NE 2018, LA 2020 e LA 2021).

De modo geral, observamos variações de anomalia das variáveis estudadas semelhantes a Tabela 3. Porém com o módulo superior (valores acentuados de anomalia nesses meses). Colaborando com os resultados obtidos pelos autores citados acima, em que a influência do ENOS neste período é tida como intensa para esta região de análise.

Tabela 4 - Média das anomalias de outubro a dezembro das variáveis estudadas nos períodos selecionados

variáveis	EL 2015	LA 2017	NE 2018	LA 2020	LA 2021
	Out a Dez	Out a Dez	Out a Dez	Out a Dez	Out a Dez
Prec (mm)	165,09 ↑	-34,31 ↓	-15,97 ↓	-128,20 ↓	-98,67 ↓
Rg (W/m ²)	-51,96 ↓	14,14 ↑	7,67 ↑	15,44 ↑	20,86 ↑
Tair (°C)	-1,09 ↓	0,09 ↑	0,63 ↑	-0,11 ↓	-0,03 ↓
Pres (kPa)	-0,02 ↓	-0,09 ↓	0,01 ↑	-0,03 ↓	0,11 ↑
Rh (%)	4,01 ↑	-0,12 ↓	2,00 ↑	-3,15 ↓	-2,26 ↓
VPD (kPa)	-2,10 ↓	0,24 ↑	-0,44 ↓	0,83 ↑	0,88 ↑
Wind (m/s)	0,13 ↑	-0,15 ↓	-0,10 ↓	0,44 ↑	0,16 ↑
Tsoil (°C)	-1,27 ↓	-0,01 ↓	-0,28 ↓	1,89 ↑	1,84 ↑
SWC (m ³)	0,02 ↑	0,03 ↑	0,03 ↑	-0,08 ↓	-0,07 ↓
Rn (W/m ²)	-29,14 ↓	5,61 ↑	5,69 ↑	7,41 ↑	11,67 ↑
LE (W/m ²)	-21,56 ↓	3,51 ↑	13,24 ↑	0,84 ↑	0,85 ↑
H (W/m ²)	-9,17 ↓	3,47 ↑	-2,76 ↓	12,85 ↑	7,84 ↑
ETr (mm)	-0,71 ↓	0,15 ↑	0,49 ↑	-0,20 ↓	0,06 ↑
ETo (mm)	-0,82 ↓	0,17 ↑	0,11 ↑	0,39 ↑	0,35 ↑

Fonte: Autor.

5.6 RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS COM OS FLUXOS ENERGÉTICOS EM NE, EL E LA

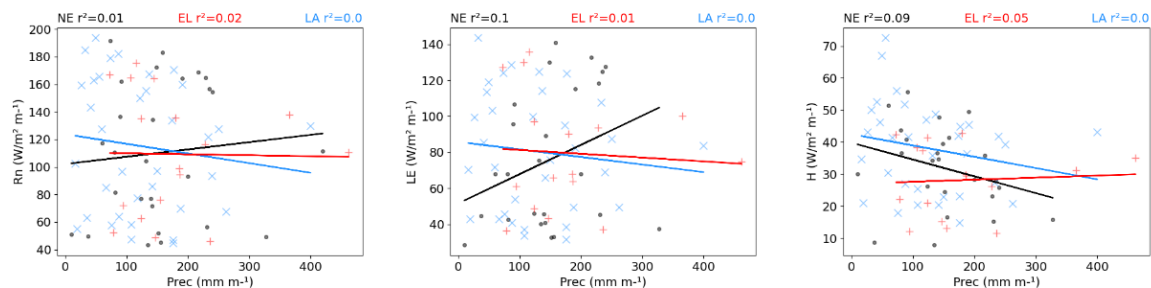
A relação dos fluxos de energia com as variáveis atmosféricas é demonstrada na Figura 22. A partir desses dados, podemos ver que não há clareza na relação das variáveis de energia

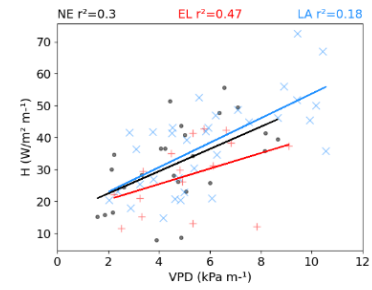
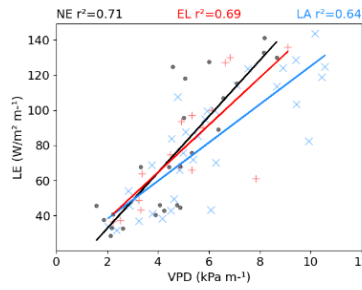
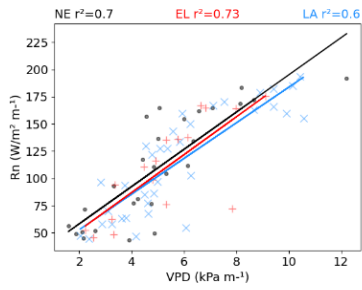
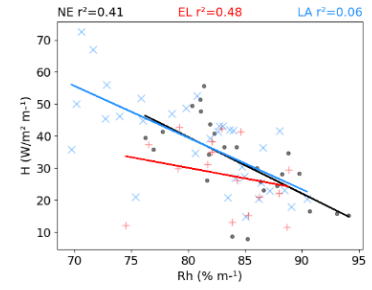
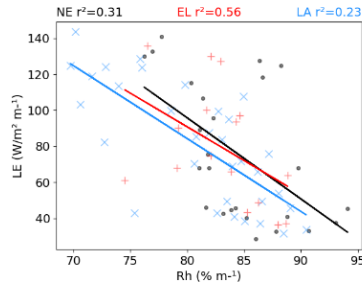
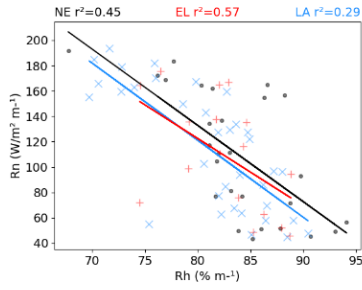
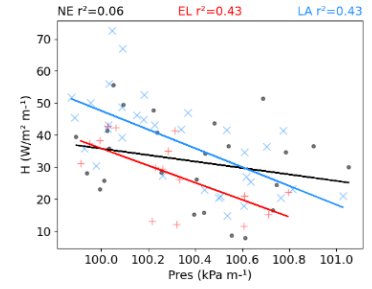
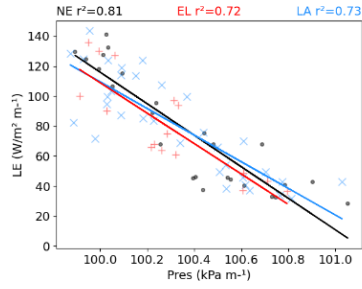
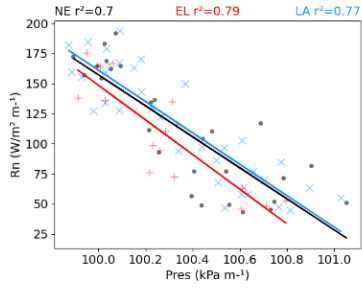
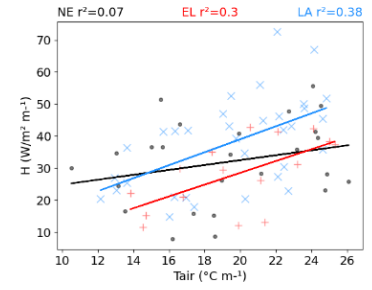
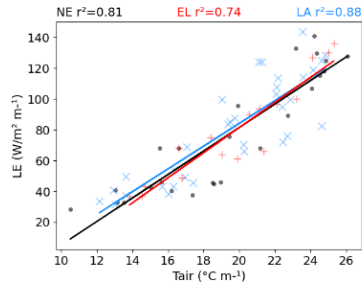
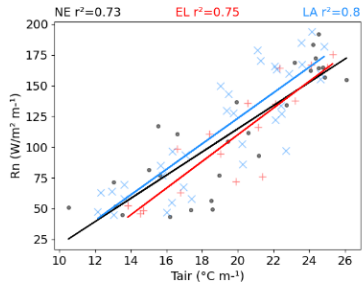
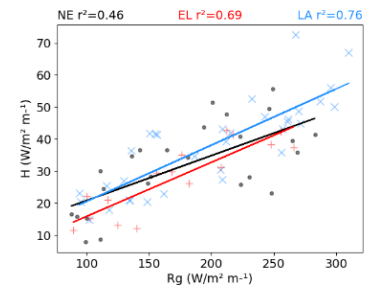
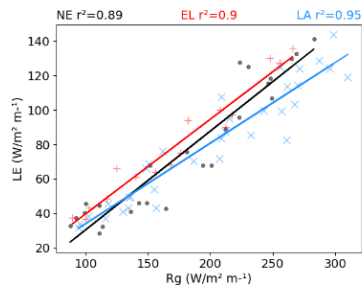
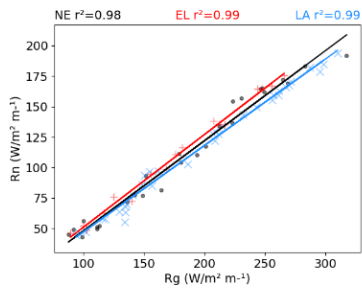
com a Prec utilizando regressão linear, pois nos dados estimados pelo método EC, a Prec é descartada. Com o Rg, a relação com as três variáveis de fluxo são muito fortes, com destaque para período de LA, no qual apresenta os maiores valores de correlação. A Tair apresenta forte correlação com o Rn e LE, porém com o H obteve uma diminuição elevada. Nesta variável a relação com a LA é maior em relação a EL e NE. A Pres obtém relação inversa com os fluxos energéticos, ou seja, quanto mais energia uma determinada região apresenta, menor a Pres. A diferença entre os períodos nos fluxos de energia com a Pres não é significativa, com exceção da relação Pres e H no período NE, no qual apresenta valor de r^2 0,06, muito abaixo em relação a 0,43 em EL e 0,43 em LA.

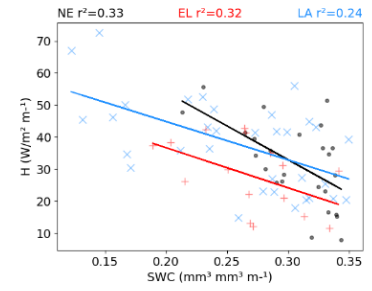
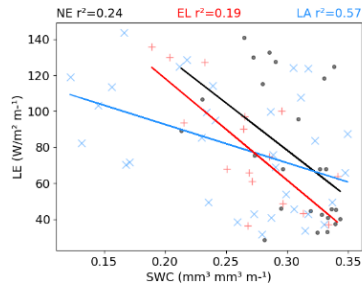
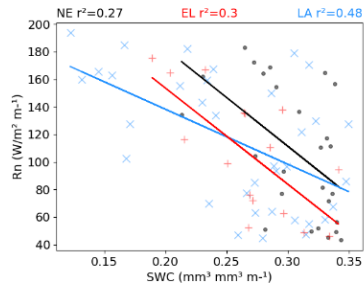
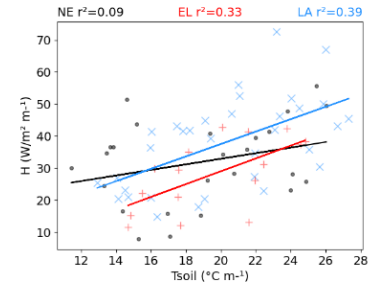
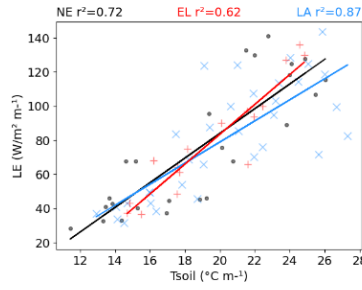
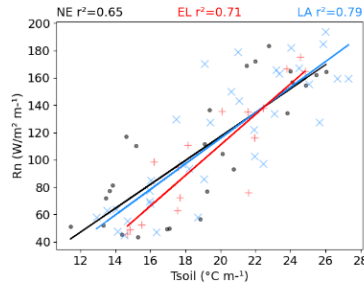
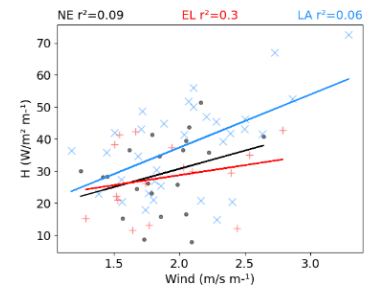
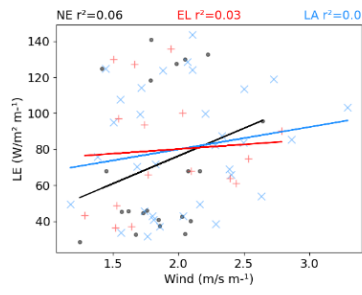
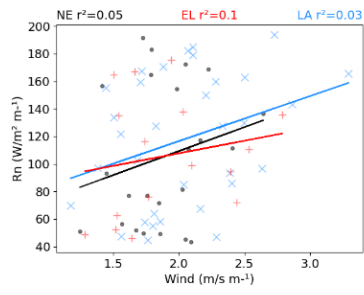
A Rh apresenta correlação forte e inversa com os fluxos de energia. Com a Rn e a Rh, os maiores valores de r^2 encontram-se em período de EL. Com relação ao H, este apresenta o maior valor de r^2 em LA. A relação dos fluxos energéticos com o VPD é direta e maior em relação a Rh. Neste, notamos que a relação do VPD com os fluxos energéticos é maior em período sob influência de EL, com exceção do LE, que apresenta o período NE com o maior valor de r^2 (0,71). A variável vento, que assim como a Prec, não apresenta clareza na relação com os fluxos de energia.

A Tsoil apresenta forte correlação com os fluxos de Rn e LE, apresentando os maiores valores de r^2 em período sob influência da LA. A relação da Tsoil com o H é fraca, apresentando o maior valor também em período sob influência de LA, com r^2 de 0,39. A relação SWC e variáveis dos fluxos de energia é inversa, pois quanto maior a demanda energética, menor a quantidade de água no solo, perdida em decorrência da evaporação. Este apresenta a maior correlação inversa em períodos de LA.

Figura 22 - Relação entre as variáveis ambientais e do solo com os fluxos de energia, no período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2021, no sítio de Santa Maria. A linha de regressão vermelha representa os períodos de EL; a azul representa os períodos de LA; a preta representa os períodos NE







Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

O comportamento das variáveis ambientais e de fluxo no bioma pampa brasileiro apresentam variações consideráveis mesmo em uma série temporal curta. Após uma série de análises realizadas neste trabalho, podemos afirmar que:

- (i) as variáveis ambientais e as componentes do balanço de energia são altamente influenciadas pelas fases do ENOS, de modo que: em período de EL, a Prec tende a aumentar, já em LA, a tendência é a diminuição; o Rg diminui; a Tair tende a apresentar anomalias negativas em período em que a presença de nuvens é menor (períodos de LA); a Pres não apresenta uma variação considerável nos períodos; a Rh aumenta em períodos de EL e diminui em períodos de LA; o VPD tende a diminuir em período de EL e aumentar em períodos de LA; a velocidade do vento não segue um padrão de comportamento nos períodos estudados; a Tsoil é menor em períodos de EL e maior em períodos de LA; o SWC é maior em EL e menor em LA; nas componentes do balanço de energia, o Rn é menor em EL e aumenta em LA: o LE apresentou valores negativos tanto em EL quanto em LA forte, os períodos de LA fraco e NE foram positivos; o H é menor em EL e maior em LA. De modo geral, os períodos NE apresentaram as anomalias menos acentuadas nas variáveis estudadas.
- (ii) Em período neutro, as variáveis apresentam baixos valores de anomalia, ou variações mensais que se anulam na média total do período. Em período de ENOS, os valores de anomalia das variáveis estudadas foram maiores, indicando assim a influência deste modulador oceano atmosférico nos dados meteorológicos do bioma Pampa.
- (iii) A relação entre as variáveis atmosféricas e os fluxos superficiais se altera com a presença das fases do ENOS. Os valores em LA e EL tendem a ser opostos, enquanto NE tende a um meio termo entre os períodos.
- (iv) A ETr e a ETo são semelhantes no sítio de Santa Maria, com exceção dos períodos de LA, na qual a ETo é demasiadamente superior a ETr.

Apesar do aumento da precipitação em período de El Niño, a ETr e a ETo apresentaram anomalias negativas, indicando que apesar da alta disponibilidade hídrica, a menor quantidade de energia necessária para a mudança de fase do H₂O em superfície dificulta o processo de evapotranspiração. A ETr apresentou anomalia negativa em período sob influência do La Niña forte, demonstrando que o outro extremo (menor disponibilidade hídrica, porém maior energia) também prejudica o processo de evapotranspiração. Os efeitos do ENOS são maximizados na primavera do hemisfério sul, enfatizando a importância de estudos aprofundados sobre o ENOS e seus efeitos num bioma tão pouco estudado como o Pampa brasileiro.

REFERENCIAS

- ACOSTA, Ricardo et al. **Estimativas das interações biosfera-atmosfera em ecossistema de pastagem natural do bioma Pampa**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.
- ADLER, Jeremy; PARMRYD, Ingela. Quantifying colocalization by correlation: the Pearson correlation coefficient is superior to the Mander's overlap coefficient. **Cytometry Part A**, v. 77, n. 8, p. 733-742, 2010.
- ALLAN, Rob et al. El Niño southern oscillation & climatic variability. **CSIRO publishing**, 1996.
- ALLEN, Richard G. et al. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- ALMEIDA, Danilo Sette de. **Recuperação ambiental da mata atlântica**. Editus, 2016.
- ALMEIDA, Rodrigo Elesbao de et al. **Evaporação e temperatura em solos mantidos com diferentes quantidades de resíduos em superfície**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.
- ARAGÃO, José Oribe Rocha de. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines**, v. 27, n. 3, p. 839-844, 1998.
- ATAÍDE, Kleber Renato da Paixão. Modelagem de determinação da evapotranspiração real para o bioma cerrado por meio de dados de sensoriamento remoto orbital. 2012.
- ARYA, S. P.; HOLTON, J. **Introduction to Micrometeorology**. 2nd. ed. San Diego – California: [s.n.], 2001.
- ATTENBOROUGH, Keith. Sound propagation in the atmosphere. In: **Springer handbook of acoustics**. Springer, New York, NY, 2014. p. 117-155.
- AUBINET, M.; VESALA, T.; PAPALE, D. (Eds.). Eddy Covariance. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012.
- AUBINET, Marc et al. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: the EUROFLUX methodology. In: **Advances in ecological research**. Academic Press, 1999. p. 113-175.
- BACELLAR, Luiz. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo.br**, v. 1, p. 1-39, 2005.
- BALDOCCHI, D. D.; HINCKS, B. B.; MEYERS, T. P. Measuring biosphere atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. **Ecology**, v. 69, n. 5, p. 1331-1340, 1988.

BARBOSA, Henrique MJ. Vapor de água na atmosfera: do efeito estufa às mudanças climáticas. **Revista USP**, n. 103, p. 67-80, 2014.

BARR, A. G. et al. Energy balance closure at the BERMS flux towers in relation to the water balance of the White Gull Creek watershed 1999–2009. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 153, p. 3-13, 2012.

BENCKE, Glayson Ariel; CHOMENKO, Luiza; SANT'ANNA, Danilo Menezes. O que é o Pampa. **Nosso Pampa desconhecido. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul**, p. 61-75, 2016.

BENESTY, Jacob et al. Pearson correlation coefficient. In: **Noise reduction in speech processing**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 1-4.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**, v. 2, p. 11-23, 1992.

BERLATO, Moacir A.; FONTANA, Denise Cybis. El niño e a agricultura da região Sul do Brasil. **Passo Fundo: Embrapa**, 2011.

BERLATO, Moacir A.; FONTANA, Denise Cybis. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Editora da UFRGS, 2003.

BERLATO, Moacir Antonio; FARENZENA, Homero; FONTANA, Denise Cybis. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 40, n. 5, p. 423-432, 2005.

BEZERRA, Bergson G.; SILVA, Bernardo B. da; FERREIRA, Nelson J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM-Landsat 5. **Revista brasileira de Meteorologia**, v. 23, p. 305-317, 2008.

BODAS TERASSI, Paulo Miguel de et al. Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 11-25, 2018.

BORSATO, Victor A.: A dinâmica atmosférica no centro-sul do Brasil no verão e as influências do El Niño oscilação sul (ENOS). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 22, p. 135-157, 2011.

BOURREL, Luc et al. Low-frequency modulation and trend of the relationship between ENSO and precipitation along the northern to centre Peruvian Pacific coast. **Hydrological processes**, v. 29, n. 6, p. 1252-1266, 2015.

BOWEN, Ira Sprague. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical review**, v. 27, n. 6, p. 779, 1926.

BRASWELL, Bobby H. et al. Estimating diurnal to annual ecosystem parameters by synthesis of a carbon flux model with eddy covariance net ecosystem exchange observations. **Global Change Biology**, v. 11, n. 2, p. 335-355, 2005.

BUENO, Janaina Cosmedamiana Metinoski et al. Fases do Enos e características da precipitação pluvial e temperatura na região de Guarapuava, Sul do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. e74953117-e74953117, 2020.

CAMPOS, Cláudia Rejane Jacondino de; SILVA, Morgana Vaz da. Impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do Rio Grande do Sul em 2006. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, p. 121-136, 2010.

CARVALHO, Luiz Gonsaga de et al. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 456-465, 2011.

CAVALCANTI, Iracema FA. Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. **Climanálise Especial**, 1996.

CERA, J. C.; FERRAZ, SET. Caracterização da Precipitação no Estado Do Rio Grande Do Sul. **II Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia**, 2007.

CERA, Jossana Ceolin; FERRAZ, Simone Erotildes Teleginski. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 81-88, 2015.

COLLINS, Mat et al. The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 6, p. 391-397, 2010.

CONCEIÇÃO, Marco AF. Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO. **Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica**, 2006.

CORDEIRO, Ana Paula Assumpção et al. Tendências climáticas das temperaturas do ar no estado do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 03, p. 868-880, 2016.

COSTA, Gabriel Brito; LYRA, Roberto Fernando da Fonseca. Análise dos padrões de vento no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 31-38, 2012.

CULF, Alistair D.; FOKEN, Thomas; GASH, John HC. The energy balance closure problem. In: **Vegetation, water, humans and the climate**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. p. 159-166.

CUNHA, Gilberto Rocca da. O fenômeno El Niño-Oscilação do Sul e suas aplicações na agricultura do sul do Brasil. **Passo Fundo: Embrapa Trigo**, 1997.

CUNHA, GR da. El Niño Oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, p. 277-284, 1999.

CUSTÓDIO, Maria; BERLATO, Moacir Antonio; FONTANA, Denise Cybis. Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul, Brasil: climatologia e tendência temporal. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 15, n. 1, p. 45-52, 2009.

DE OLIVEIRA, Gilvan Sampaio; SATYAMURTY, Prakki. O El Niño de 1997/98: evolução e impactos no Brasil. 1998.

DUBAYAH, R. Estimating net solar radiation using Landsat Thematic Mapper and digital elevation data. **Water resources research**, v. 28, n. 9, p. 2469-2484, 1992.

ENFIELD, David B. et al. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures?. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 104, n. C4, p. 7841-7848, 1999.

ERBOT. Encontro Regional de Botânicos MG, BA e ES. Belo Horizonte: Sociedade Botânica do Brasil, 2013.

FABRIS, Elisandra. Identificação da Ocorrência de Estiagem em Sub-Bacias pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai-RS, 2013.

FALGE, Eva et al. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. **Agricultural and forest meteorology**, v. 107, n. 1, p. 43-69, 2001.

FARIAS, José Renato B.; NEPOMUCENO, Alexandre L.; NEUMAIER, Norman. Ecofisiologia da soja. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2007.

FARIAS, José Renato Bouças et al. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FARIAS, José Renato Bouças. Limitações climáticas à obtenção de rendimentos máximos de soja. 2011.

FERNANDES, Sabrina Oliveira. Paradigmas do Bioma Pampa: aspectos ambientais e atual panorama legal. 2017.

FERREIRA, Antonio Geraldo; DA SILVA MELLO, Namir Giovanni. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista brasileira de climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FIGLIUOLO, Guilherme Cordeiro. Variabilidade de tsm no Atlântico Tropical em respostas às teleconexões de diferentes Enos e seus impactos na precipitação na América do Sul. 2017.

FIGUEIRA, Antônio Paulo Bentes et al. **Determinação da escala temporal para os fluxos superficiais turbulentos noturnos de energia e massa sobre florestas: Flona Tapajós**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Oeste do Pará.

FINGER, Maria Isabel Fernandes; WAQUIL, Paulo Dabdab. Percepção e medidas de gestão de riscos por produtores de arroz irrigado na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 43, p. 930-936, 2013.

- FOKEN, Thomas. The energy balance closure problem: An overview. **Ecological Applications**, v. 18, n. 6, p. 1351-1367, 2008.
- FOKEN, Thomas; AUBINET, Marc; LEUNING, Ray. The eddy covariance method. In: **Eddy covariance**. Springer, Dordrecht, 2012. p. 1-19.
- FONTANA, Denise Cybis; BERLATO, Moacir Antonio. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.
- FONTANA, DENISE CYBIS; BERLATO, MOACIR ANTONIO. Relação entre El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 2, n. 1, p. 39-46, 1996.
- FRAGOSO JR, Carlos Ruberto; FERREIRA, Tiago Finkler; DA MOTTA MARQUES, David. **Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos**. Oficina de textos, 2009.
- GASH, J. H. C.; CULF, A. D. Applying linear de-trend to eddy correlation data in real time. **Boundary-Layer Meteorology**, 79: 301-306, 1996.
- GATTI, Eliana Cristine et al. Estudo de sistemas convectivos de mesoescala em Santa Catarina no período primavera/verão 2018-2019. 2019.
- GEISLER, J. E. A linear model of the Walker circulation. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 7, p. 1390-1400, 1981.
- GLANTZ, Michael H.; RAMIREZ, Ivan J. Reviewing the Oceanic Niño Index (ONI) to enhance societal readiness for El Niño's impacts. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 11, n. 3, p. 394-403, 2020.
- GLANTZ, Michael; KATZ, Richard; NICHOLLS, Neville. **Teleconnections linking worldwide climate anomalies**. Cambridge University Press, 1991.
- GOMES, Heliofábio Barros et al. Balanços de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no Estado de São Paulo mediante imagens orbitais. 2009.
- GÖPFERT, H.; ROSSETTI, L. A.; SOUZA, J. de. Eventos generalizados e seguridade agrícola. **Brasília: IPEA**, 1993.
- GRIMM, Alice M.; FERRAZ, Simone ET; GOMES, Júlio. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of climate**, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998.
- GRIMM, Alice Marlene et al. Anomalias de precipitação no sul do Brasil em eventos El Niño. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 1996. p. 1098-1102.
- GUIMARÃES, Daniel P.; DOS REIS, Ruibran. Impactos do fenômeno Enos sobre a temperatura no Brasil. **Revista Espinhaço**, 2012.

HASENACK, Heinrich; CORDEIRO, José Luís Passos; COSTA, B. S. C. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. **simpósio de forrageiras e produção animal**, v. 2, p. 15-21, 2007.

HELD, Isaac M.; SODEN, Brian J. Water vapor feedback and global warming. **Annual review of energy and the environment**, v. 25, n. 1, p. 441-475, 2000.

HELDWEIN, Arno Bernardo et al. Frequência de ocorrência de ventos fortes em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 285-291, 2003.

HUI, Dafeng et al. Gap-filling missing data in eddy covariance measurements using multiple imputation (MI) for annual estimations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 1-2, p. 93-111, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapas. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>>. Acesso em: 17 março 2022.

Instituto Nacional de Meteorologia. Catálogo das estações automáticas. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/paginas/catalogoaut>. Acesso em: 18 março de 2021.

JACÓBSEN, Lizandro Oliveira; FONTANA, Denise Cybis; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. Alterações na vegetação em macrozonas do Rio Grande do Sul associados a eventos El Niño e La Niña, usando imagens NOAA. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 361-374, 2003.

JHA, Chandra Shekhar et al. Analysis of carbon dioxide, water vapour and energy fluxes over an Indian teak mixed deciduous forest for winter and summer months using eddy covariance technique. **Journal of Earth System Science**, v. 122, n. 5, p. 1259-1268, 2013.

KAYANO, Mary T.; MOURA, Antonio D. O El Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 4, n. 2, p. 201-214, 2018.

KOBAYASHI, Shinya et al. The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. Ser. II, v. 93, n. 1, p. 5-48, 2015.

LAU, K. M.; YANG, S. Walker circulation. *Encyclopedia of atmospheric sciences*, v. 2505, p. 2510, 2003.

LEUNING, Ray et al. Carbon and water fluxes over a temperate Eucalyptus forest and a tropical wet/dry savanna in Australia: measurements and comparison with MODIS remote sensing estimates. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 129, n. 3-4, p. 151-173, 2005.

LI, Tim; ZHANG, Lei; MURAKAMI, Hiroyuki. Strengthening of the Walker circulation under globalwarming in an aqua-planet general circulation model simulation. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 32, n. 11, p. 1473-1480, 2015.

LIMA, Mônica Vaz; NUNES, André Becker. Comportamento climático do balanço do vento térmico na América do Sul de acordo com os eventos ENOS: Estudo preliminar. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 03, p. 728-744, 2018.

LIMBU, Paul Tilwebwa Shelleph; GUIRONG, Tan. Relationship between the October-December rainfall in Tanzania and the Walker circulation cell over the Indian Ocean. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 28, n. 6, p. 453-469, 2019.

LOPES, Fabíola; BERLATO, Moacir Antonio. Impactos do El Niño/La Niña nas temperaturas médias mínimas e médias máximas do estado do Rio Grande do Sul. **Salão de Iniciação Científica** (12.: 2000: Porto Alegre). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2000., 2000.

MAIA, Joélio Farias et al. O pampa gaúcho e a contribuição da agricultura e da pecuária familiar no processo de desenvolvimento territorial. 2022.

MANTUA, Nathan J. et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 6, p. 1069-1080, 1997.

MANTUA, Nathan J.; HARE, Steven R. The Pacific decadal oscillation. **Journal of oceanography**, v. 58, n. 1, p. 35-44, 2002.

MARENGO, Jose A.; OLIVEIRA, GS de. Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/1999. In: **Congresso Brasileiro De Meteorologia**. 1998.

MARINHO, Éden César Silva. Comparação de equações que estimam a evapotranspiração de referência (ET_o) com o modelo de Penman-Monteith padrão FAO nas condições do município de Areia-PB. 2014.

MARTINS, Andreza Carla da Silva et al. Relação das anomalias de TSM do Pacífico e Atlântico Tropicais com anomalias de temperatura, umidade e vento para a América do Sul. 2008.

MATEI, Ana Paula; FILIPPI, Eduardo Ernesto. O bioma pampa e o desenvolvimento socioeconômico em Santa Vitória do Palmar. **Ensaio FEE**, v. 34, 2013.

MAUDER, M.; FOKEN T. Impact of post-field data processing on eddy covariance flux estimates and energy balance closure. **Meteorologische Zeitschrift**, 15:597-609, 2006.

MAUDER, Matthias; FOKEN, Thomas; CUXART, Joan. Surface-energy-balance closure over land: a review. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 177, n. 2, p. 395-426, 2020.

MEINEN, Christopher S.; MCPHADEN, Michael J. Observations of warm water volume changes in the equatorial Pacific and their relationship to El Niño and La Niña. **Journal of Climate**, v. 13, n. 20, p. 3551-3559, 2000.

MELO, Maria Luciene Dias de; MARENGO, José Antonio. Simulações do clima do holoceno médio na América do Sul com o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, p. 191-205, 2008.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MERGEN, Alexander et al. Variabilidade interanual dos fluxos de CO₂ em uma pastagem natural no bioma Pampa brasileiro. 2022.

MONCRIEFF, J. B. et al. A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapor and carbon dioxide. **Journal of Hydrology**, v.188-189, p. 589-611, 1997.

MONCRIEFF, J. B. et al. Averaging, detrending and filtering of eddy covariance time series, in **Handbook of micrometeorology: a guide for surface flux measurements**, (Eds). Lee, X.; Massman W. J.; Law B. E. Dordrecht: Kluwer Academic, 7-31, 2004.

MOURA, Maurício do Nascimento et al. Padrões climáticos de precipitação e a produção de soja na Amazônia. 2014.

NAKAI, T.; SHIMOYAMA, K. Ultrasonic anemometer angle of attack errors under turbulent conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, 18: 162-163, 2012.

NIMER, Edmon. Climatologia da Região Sudeste do Brasil: introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 34, n. 1, p. 3-48, 1972.

NOAA. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/el-ni%C3%B1o-and-la-ni%C3%B1a-frequently-asked-questions>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

NÓBREGA, Ranyére; SANTIAGO, Gabriela Ayane. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, n. 63, p. 9-26, 2016.

NOORMETS, Asko; CHEN, Jiquan; CROW, Thomas R. Age-dependent changes in ecosystem carbon fluxes in managed forests in northern Wisconsin, USA. **Ecosystems**, v. 10, n. 2, p. 187-203, 2007.

OKE, Timothy R. **Boundary layer climates**. Routledge, 2002.

OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco et al. Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 140-149, 2014.

OLIVEIRA, PJ de. Estudo do vento e da turbulência na camada limite atmosférica em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **São José dos Campos: INPE, 108p.**-(INPE-8350-TDI/769), 1999.

PAULUIS, Olivier; CZAJA, Arnaud; KORTY, Robert. The global atmospheric circulation in moist isentropic coordinates. **Journal of Climate**, v. 23, n. 11, p. 3077-3093, 2010.

PEZZI, L. P.; UBARANA, V.; REPELLI, C. Desempenho e previsões de um modelo regional estatístico para a Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, p. 129-146, 2000.

PEZZI, Luciano Ponzi; SOUZA, Ronald Buss de; QUADRO, Mário FL. Uma revisão dos processos de interação oceano-atmosfera em regiões de intenso gradiente termal do oceano atlântico sul baseada em dados observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 428-453, 2016.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo; PEDRO JÚNIOR, Mário José. Balanço de energia em vinhedo de 'Niagara Rosada'. **Bragantia**, v. 62, p. 155-161, 2003.

PHILANDER, S. George. Who is El Niño?. Eos, **Transactions American Geophysical Union**, v. 79, n. 13, p. 170-170, 1998.

POWER, S. et al. Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia. **Climate dynamics**, v. 15, n. 5, p. 319-324, 1999.

RADIN, Bernadete et al. Quantificação e distribuição sazonal da precipitação pluvial nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. 2017.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and applied climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, p. 81-91, 1990.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, Michelle Simões et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. 2012.

REICHSTEIN, Markus et al. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. **Global change biology**, v. 11, n. 9, p. 1424-1439, 2005.

RODRIGUES, Regina R. et al. The impacts of inter-El Niño variability on the tropical Atlantic and Northeast Brazil climate. **Journal of Climate**, v. 24, n. 13, p. 3402-3422, 2011.

RODRIGUES, Sandra Cristina Antunes. **Modelo de regressão linear e suas aplicações**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade da Beira Interior.

ROPELEWSKI, Chester F.; HALPERT, Michael S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly weather review**, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, Chester F.; JONES, Phil D. An extension of the Tahiti-Darwin southern oscillation index. **Monthly weather review**, v. 115, n. 9, p. 2161-2165, 1987.

ROSSATO, Luciana; TOMASELLA, Javier; ALVALÁ, Regina CS. Avaliação da umidade do solo no Brasil durante o episódio El Niño (1982/83). **Rev Bras Agromet**, v. 13, n. 1, p. 143-153, 2005.

ROVEDDER, A. P. M. Bioma Pampa: relações solo-vegetação e experiências de restauração. In: **Anais [do] LXIV Congresso Nacional de Botânica: botânica sempre viva [e] XXXIII**

RÚA URIBE, Guillermo León et al. Influencia del evento climático El Niño sobre la dinámica de transmisión de dengue en Medellín, Antioquia, Colombia. **Iatreia**, v. 25, n. 4, p. 314-322, 2012.

RUBERT, Gisele Cristina Dotto et al. Estudo do balanço de energia em um cultivo de trigo no Sul do Brasil. 2013.

RUBERT, Gisele Cristina Dotto et al. Patterns and Controls of the Latent and Sensible Heat Fluxes in the Brazilian Pampa Biome. **Atmosphere**, v. 13, n. 1, p. 23, 2021.

RUBERT, Gisele Cristina Dotto et al. Variabilidade sazonal e controle biofísico da evapotranspiração na vegetação do bioma Pampa. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

SÁNCHEZ, J. M.; CASELLES, V.; RUBIO, E. M. Analysis of the energy balance closure over a FLUXNET boreal forest in Finland. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 14, n. 8, p. 1487-1497, 2010.

SANTOS, Aline Bosak et al. Rio Grande do Sul State's (Brazil) native grasses morphogenesis under rotational grazing during spring and summer/Morfogenese de gramíneas nativas do Rio Grande do Sul (Brasil) submetidas a pastoreio rotativo durante primavera e verão. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 97-104, 2014.

SANTOS, Cristiano Nunes do. El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul. 2008.

SANTOS, Daniel Michelon dos et al. Variação sazonal da acumulação e fluxo noturnos de escalares em uma pastagem na região Amazônica. 2010.

SANTOS, Eliane Barbosa et al. Spatio-temporal variability of wet and drought events in the Paraná River basin—Brazil and its association with the El Niño—Southern oscillation phenomenon. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 10, p. 4879-4897, 2021.

SANTOS, Wesley et al. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, ETO, para a região de Mossoró, RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 36, 2010.

SCHMIDT, A.; WRZESINSKY, T.; KLEMM, O. Gap filling and quality assessment of CO₂ and water vapour fluxes above an urban area with radial basis function neural networks. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 126, n. 3, p. 389-413, 2008.

SCHNEIDER, Tapio. The general circulation of the atmosphere. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, v. 34, p. 655-688, 2006.

SELL, Isair. Utilização da regressão linear como ferramenta de decisão na gestão de custos. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2005.

SILVA, Joel C. da et al. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 67-72, 2007.

SILVA, L. V. et al. Influência dos Fenómenos El Niño e La Niña na Precipitação Pluvial da Região do Matopiba. II **INOVAGRI INTERNATIONAL MEEING**, 2014.

SILVA, Mirian Rejane Machado da. Identificação da ocorrência em Bagé (RS) entre 1961–2009. 2010.

SLEIMAN, Jorge. **Veranicos ocorridos na porção noroeste do estado do Rio Grande do Sul entre 1978 e 2005 e sua associação às condições climáticas na atmosfera**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOUSA, Inajá F. de et al. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 633-644, 2010.

SOUSA, Patrícia. Estudo da variabilidade da precipitação no estado do Paraná associado à anomalia da TSM no Oceano Pacífico. **Maringá, PR**, 2006.

SOUZA, EB DE; AMBRIZZI, Tercio. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation. **Atmosfera**, v. 15, n. 2, p. 105-120, 2002.

SOUZA, Luciana Sandra Bastos de et al. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 627-636, 2015.

STEVENSON, William J. et al. Estatística aplicada à administração. In: **Estatística aplicada a administração**. 1981. p. 495-495.

STEWART, Bobby Alton; NIELSEN, Donald R. Irrigation of agricultural crops. **Soil Science**, v. 152, n. 2, p. 137, 1991.

STRECK, Nereu Augusto et al. O fenômeno El Niño Oscilação Sul e a variabilidade interanual da evaporação do tanque Classe A e da umidade relativa do ar em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1452-1455, 2008.

STUDZINSKI, C. D.; DIAZ, A. F. Relação da precipitação no sul do Brasil-Uruguai com a temperatura da superfície do mar (TSM) por correlações canônicas (CCA). Meteorologia e hidrologia: aspectos e considerações no contexto brasileiro. Curitiba: **Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar)**, p. 191-205, 1994.

STULL, Roland B. An introduction to boundary layer meteorology. **Springer Science & Business Media**, 1988.

STULL, Ronald B. **Practical meteorology: an algebra-based survey of atmospheric science**. University of British Columbia, 2015.

SWINBANK, W. The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere. **J. Meteorology**, v. 8, p. 135–145, 1951.

TEIXEIRA, Mateus da Silva; PRIETO, Raidel Báez. Eventos extremos de chuva no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 1: definição dos eventos e estatísticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 45-52, 2020.

THOMÁZ, Aparecida Maria; CARRERA, Francisco. **Desmatamento: causas, consequências e soluções sustentáveis**. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação de especialização, Universidade Candido Mendes, Rio de Janeiro, Brasil.

TRENBERTH, Kevin E. The definition of el nino. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2778, 1997.

TWINE, Tracy E. et al. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. **Agricultural and forest meteorology**, v. 103, n. 3, p. 279-300, 2000.

VERA, Carolina et al. Differences in el nino response over the southern hemisphere. **Journal of climate**, v. 17, n. 9, p. 1741-1753, 2004.

VERDUM, Roberto. O Pampa: ainda desconhecido. **Revista Instituto Humanitas Unisinos**, v. 183, p. 4-9, 2006.

VIANA, João Garibaldi Almeida et al. Sustainability of Livestock Systems in the Pampa Biome of Brazil: An Analysis Highlighting the Rangeland Dilemma. **Sustainability**, v. 13, n. 24, p. 13781, 2021.

VICKERS, D.; MAHRT L. Controle de qualidade e problemas de amostragem de fluxo para dados de torre e aeronave. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, 14:512-526, 1997.

WEBB, E. K.; PEARMAN, G. I.; LEUNING, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 106: 85–100, 1980.

WILSON, Kell B. et al. A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. **Agricultural and forest Meteorology**, v. 106, n. 2, p. 153-168, 2001.

WITTENBERG, Andrew T. et al. ENSO modulation: is it decadal predictable?. **Journal of Climate**, v. 27, n. 7, p. 2667-2681, 2014.

WOLTER, Klaus; TIMLIN, Michael S. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI. ext). **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 7, p. 1074-1087, 2011.

WOLTER, Klaus; TIMLIN, Michael S. Measuring the strength of ENSO events: How does 1997/98 rank?. **Weather**, v. 53, n. 9, p. 315-324, 1998.

WREGGE, M. S. et al. Atlas climático da região sul do Brasil. Pelotas, SC: Embrapa, 2011

WUTZLER, Thomas et al. Basic and extensible post-processing of eddy covariance flux data with REddyProc. **Biogeosciences**, v. 15, n. 16, p. 5015-5030, 2018.