

LETICIA PRECHESNIUKI ALVES

**ANÁLISE DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS E QUEIMADAS AO LONGO DAS
LINHAS DE TRANSMISSÃO NOS ESTADOS DO PR, SP E RJ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Flávio Barbosa Justino
Coorientadora: Vanúcia S. Pogorzelski

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A474a
2023
Alves, Leticia Prechesniuki, 1999-
Análise das descargas atmosféricas e queimadas ao longo
das linhas de transmissão nos estados do PR, SP e RJ / Leticia
Prechesniuki Alves. – Viçosa, MG, 2023.
1 dissertação eletrônica (54 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Flávio Barbosa Justino.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2023.

Referências bibliográficas: f. 49-54.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.306>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Climatologia. 2. Raio. 3. Queimada. 4. Energia elétrica -
Transmissão. I. Justino, Flávio Barbosa, 1971-. II. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada.
III. Título.

CDD 22. ed. 551.6

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

LETICIA PRECHESNIUKI ALVES

**ANÁLISE DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS E QUEIMADAS AO LONGO DAS
LINHAS DE TRANSMISSÃO NOS ESTADOS DO PR, SP E RJ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2023

Assentimento:



Documento assinado digitalmente
LETICIA PRECHESNIUKI ALVES
Data: 24/05/2023 11:03:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Leticia Prechesniuki Alves
Autora



Documento assinado digitalmente
FLAVIO BARBOSA JUSTINO
Data: 24/05/2023 11:18:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Flávio Barbosa Justino
Orientador

AGRADECIMENTOS

Ao longo do mestrado, várias pessoas foram importantes na minha caminhada e merecem a minha gratidão. Primeiramente quero agradecer a Deus, por me dar forças todos os dias para alcançar meus objetivos e pelas bênçãos alcançadas. A Deus que permitiu que com saúde esse dia chegasse. Aos meus pais, Pedro e Júlia, que são a minha base, meu porto seguro, os meus exemplos de vida e o motivo para ser cada dia uma pessoa melhor, essa conquista é de vocês também.

Agradecer as minhas irmãs Joclélia e Josemara que sempre me apoiaram e me ajudaram no que eu preciso, gratidão a vocês. Agradecer a Elaine e a Thaís que se tornaram irmãs de coração, obrigado a vocês por todo apoio ao longo desse caminho. Aos professores da Pós-Graduação, pelo conhecimento transmitido, pelo incentivo e por fazerem parte do meu crescimento pessoal e acadêmico.

Ao meu orientador Flávio Justino e minha coorientadora Vanúcia Schumacher, que me ajudaram. Obrigada pela dedicação e paciência por sempre estarem dispostos a sanar minhas dúvidas.

Agradecer a Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do mestrado e estruturação disponibilizada. Ao Kleber Naccarato e Rogério Batista por disponibilizarem os dados de raios.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos. Agradecer a secretária do Programa de Pós-graduação em Meteorologia Aplicada Graça Freitas.

Agradecer ao Lormido e ao Pablo, que não mediram esforços e sempre estiveram dispostos a me ajudar. Agradecer a Bruna e o Darlan que me ajudaram em um momento que precisei muito da minha família e não tinha condições de estar perto deles. Saibam que sou muito grata por isso. E obrigada por toda parceria e angústias compartilhadas ao longo dessa caminhada. A Mirele por todas conversas e risadas que foram importantes para descontraír.

Aos colegas e amigos, alguns longe, mas que tornaram a minha vida acadêmica mais leve e obrigada por fazerem a minha estadia em Viçosa mais feliz proporcionando momentos que vou lembrar sempre. Obrigada a todos.

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou construção”.

(Paulo Freire)

RESUMO

ALVES, Leticia Prechesniuki, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2023. **Análise das descargas atmosféricas e queimadas ao longo das linhas de transmissão nos estados do PR, SP e RJ** Orientador: Flávio Barbosa Justino. Coorientadora: Vanúcia Schumacher Pogorzelski.

As descargas atmosféricas e as queimadas são as principais causas de desligamentos não programados nas linhas de transmissão de energia, causando danos consideráveis ao setor elétrico. O presente estudo tem como objetivo identificar os padrões de temperatura, precipitação, CAPE (Energia Potencial Convectiva Disponível) e índices extremos associados aos desligamentos devido a ocorrência de raios e queimadas, nos estados do PR, SP e RJ Sul no período de 2013 a 2020. Para isso, foram utilizados dados de descargas atmosféricas da Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT) da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT) e focos de calor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) compreendendo um período de 2005 a 2020. Dados de reanálises do ERA5 (temperatura, precipitação e CAPE) foram utilizados, para definir os padrões das variáveis na ocorrência de raio e queimada. Foram fornecidos dados de desligamentos oriundos de descargas atmosféricas e queimadas pela ANEEL. Os resultados mostraram que São Paulo apresentou a maior quantidade de raios no verão e primavera e as queimadas no inverno e primavera ao longo das linhas de transmissão (LTs) em relação ao PR e RJ. Em relação ao total de desligamentos em torno da LT fornecidos pela ANEEL, oriundos de raios e queimadas no período de 2013 a 2020, 45% e 37,5% foram identificados como possível candidato ao desligamento por raio e queimada. Os padrões de temperatura, precipitação e CAPE, relacionadas as datas e horários de desligamento, apresentaram valores médios de temperatura igual ou próximo ao valor climatológico no entorno da LT. Em relação a precipitação, os resultados indicaram que parte dos desligamentos ocorrem com a presença de raios, seguidos de pouca precipitação, sendo mais propício para queimadas. A CAPE apresentou valor médio de 1488,17 J/kg, os valores correspondentes não são altos, mas podem estar associados a tempestades.

Palavras-chave: Energia. Desligamentos. Raio

ABSTRACT

ALVES, Leticia Prechesniuki, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2023. **Analysis of atmospheric discharges and fires along transmission lines in the states of PR, SP and RJ.** Adviser: Flávio Barbosa Justino. Co-adviser: Vanúcia Schumacher Pogorzelski.

Lightning discharges and fires are the main causes of unscheduled shutdowns in power transmission lines, causing considerable damage to the electricity sector. The present study aims to identify the patterns of temperature, precipitation, CAPE (Available Convective Potential Energy) and extreme indices associated with the disconnections due to the occurrence of lightning and fires in the South and Southeast regions of Brazil in the period from 2013 to 2020. For this, data of atmospheric discharges from the National Integrated Network for Atmospheric Discharge Detection (RINDAT) of the Brazilian Network for Atmospheric Discharge Detection (BrasilDAT) and hotpost from the Nacional Institute for Space Research (INPE) were used comprising a period from 2005 to 2020. Data from ERA5 reanalyses (temperature, precipitation and CAPE) were used to define their patterns in lightning and fire occurrence. The results demonstrated that São Paulo experiences the highest amount of lightning in summer and spring and the highest amount of wildfires in winter and spring along the transmission lines (LTs) compared to PR and RJ. In relation to the total disconnections around the LT provided by ANNEL from lightning and fires in the period from 2013 to 2020, 45% and 37.5% were identified as primary candidates lightning and fire. The patterns of temperature, precipitation and CAPE, related to the dates and times of shutdown, showed average temperature values equal or close to the climatological value in the LT surroundings. Regarding precipitation, the results indicated that part of the shutdowns occur with the presence of lightning, followed by little precipitation, being more conducive to fires. The CAPE showed an average value of 1488.17 J/kg, these corresponding values are not high, but may be associated with storms.

Keywords: Energy. Shutdowns. Lightning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização da área de estudo.....	17
Figura 2. Distribuição dos sensores para a área de estudo (PR, RJ E SP).....	19
Figura 3. Distribuição dos 5 sensores para a área de estudo no PR, SP e RJ.	20
Figura 4. Localização do pontos utilizados para o cálculo dos índices extremos de precipitação próximo da LT e altimetria da região.	23
Figura 5. Número médio de dias de precipitação em torno das LTs com precipitação \geq 10mm (A) e \geq 20mm (B) nos anos de 2005 a 2020.	24
Figura 6. Extremos de precipitação para alguns pontos ao longo da LT para o PR (A): R10 (B): R20, (C): R95p e (D): CDD nos anos de 2005 a 2020	26
Figura 7. Extremos de precipitação para alguns pontos ao longo da LT para o RJ (A): R10 (B): R20, (C): R95p e (D): CDD nos anos de 2005 a 2020.	28
Figura 8. Extremos de precipitação para alguns pontos ao longo da LT para SP (A): R10 (B): R20, (C): R95p e (D): CDD nos anos de 2005 a 2020.	30
Figura 9. Número de raios sazonais no Paraná, no período de 2005-2020.	32
Figura 10. Número de raios sazonais no Rio de Janeiro, no período de 2005-2020.	32
Figura 11. Número de raios sazonais em São Paulo, no período de 2005-2020.	33
Figura 12. Número de focos de calor sazonais do Satélite AQUA no PR, SP e RJ, no período de 2005-2020.	34
Figura 13. Focos de calor por estação detectados pelo satélite S-NPP para os estados do PR, RJ e SP no período de 2012-2020.	35
Figura 14. Distribuição horária (UTC) dos raios em torno das linhas de transmissão no período de 2005 a 2020 para cada estação do ano.	36
Figura 15. Horário dos focos de calor do satélite AQUA em torno das LTs no período de 2005 a 2020.....	37
Figura 16. Horário dos focos de calor do satélite S-NPP em torno das LTs no período de 2012 a 2020.....	38
Figura 17. Distribuição de raios no período de 2005 a 2020 e desligamentos no período de 2013 a 2020 ao longo da linha de transmissão.	41
Figura 18. Número de focos de calor e desligamentos ao longo da linha de transmissão no período de 2005 a 2020.....	43
Figura 19. Distribuição da temperatura °C (A), precipitação mm, (B) e CAPE J/kg (C) em relação aos raios candidatos ao desligamento ao longo da LT.	45

Figura 20. Distribuição de temperatura °C (A), precipitação mm (B) e CAPE J/kg (C) em dos possíveis candidados de queimadas que ocasionaram desligamento.46

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Informações das linhas de transmissão, contendo o nome de cada LT, o comprimento, o início da operação e a empresa que administra.	18
Tabela 2. Índices extremos climáticos obtidos pelo RClimDex relacionados aos dados diários de precipitação (PRCP) no período de 2005 a 2020.	22
Tabela 3. Extensão das LTs e número de descargas atmosféricas anual no verão para São Paulo, Paraná e Rio de Janeiro no período de 2005 e 2020.....	31
Tabela 4. Números de desligamentos nas LT oriundas de raios e queimadas nos anos de 2013 a 2020 pela ANEEL.	39
Tabela 5. Datas e horários dos desligamentos associados a causa por raios fornecidas pela ANEEL.	40
Tabela 6. Datas e horários dos desligamentos associados a causa por queimadas fornecidas pela ANEEL.	42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
BrasilDAT	Sistema Brasileiro de Detecção de Descargas Atmosféricas
CAPE	Energia Potencial Convectiva Disponível
DJF	Dezembro, janeiro e fevereiro
ELAT	Grupo de Eletricidade Elétrica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JJA	Junho, julho e agosto
LT	Linha de Transmissão
MAM	Março, abril e maio
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectrometer</i>
NPP	<i>National Polar-orbiting Partnership</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PR	Paraná
RINDAT	Rede Integrada Nacional de Detecção Atmosféricas
RJ	Rio de Janeiro
SON	Setembro, outubro e novembro
SIN	Sistema Interligado Nacional
SP	São Paulo
VIIRS	<i>Visible Infrared Imaging Radiometer Suite</i>
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

°C - Graus Celsius

km - Quilômetros

kV - Quilovolt

J/kg - Joules por quilograma

mm - Milímetros

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1.	Área de estudo.....	17
2.2.	Descrição dos dados.....	18
2.2.1.	ANEEL	18
2.2.2.	RINDAT	18
2.2.3.	BrasilDAT	19
2.2.4.	Focos de fogo ativo	20
2.2.5.	Variáveis meteorológicas.....	21
2.3.	Análise dos dados	21
2.4.	Índices extremos climáticos de precipitação.....	22
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
3.1.	Índices extremos de precipitação.....	24
3.3.	Sazonalidade dos raios e queimadas em torno das linhas de transmissão	31
3.4.	Frequência dos raios e queimadas em torno das linhas de transmissão	36
3.4.1.	Horário.....	36
3.5.	Relação entre os raios e focos de fogo ativo X desligamentos elétricos	38
3.6.	Raios e focos de fogo ativo X variáveis meteorológicas	44
4.	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é fundamental para a sociedade, elemento indispensável na propulsão do desenvolvimento e execução de praticamente todas as atividades modernas (BARRETO, 2016). No Brasil, cerca de 60,5% da energia elétrica é gerada por meio de hidrelétricas, no qual a variabilidade climática é de suma importância para o planejamento estratégico de produção de energia e análise de riscos de desligamentos causados por eventos meteorológicos como vendavais, chuvas intensas e descargas atmosféricas (ONS, 2022).

A geração e transmissão de energia no país, são controladas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), responsável pela coordenação e controle das instalações de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN), (ONS, 2022). O SIN atende aos consumidores no território nacional, de acordo com os quesitos de qualidade e disponibilidade, por meio de um extenso sistema de transmissão elétrico interligado, que percorre todos os estados do país, exceto o estado de Roraima.

O órgão responsável pela regulação do sistema elétrico no país, é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), uma autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Suas funções são regularizar e gerar a distribuição, transmissão e a comercialização da energia elétrica no país (ANEEL, 2022).

Atualmente, o SIN possui uma extensão de 175.013 km de linhas de transmissão (LTs) aéreas, distribuídas pelo país (ONS, 2022). As LTs são expostas a diferentes situações de risco e vulnerabilidade causadas por eventos meteorológicos extremos e descargas atmosféricas, além de outras situações, tais como a presença constante de pássaros, ocorrência de queimadas e atos de vandalismo (COSTA, 2021).

Segundo o ONS, em 2022 as principais causas de perturbações em LTs da rede básica, foram associadas às condições meteorológicas (raios, chuva/temporal, vento forte) e as queimadas. O Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo, com uma ocorrência de 70 milhões de descargas atmosféricas por ano. Em consequência, cerca de 70% dos desligamentos nas LTs (percorrem grandes distâncias, no qual conectam as usinas que geram energia aos grandes consumidores e distribuidoras) e 40% nas linhas de distribuição (distribuem a energia elétrica recebida do sistema de transmissão aos grandes, médios e pequenos consumidores) são oriundas de descargas atmosféricas (ELAT, 2022).

As descargas atmosféricas geralmente estão associadas as nuvens de tempestades, conhecidas como nuvens Cumulonimbus (Cb). Porém outros tipos de nuvens, podem produzir tempestades. A formação das nuvens de tempestades e seu desenvolvimento ocorrem devido às condições de instabilidade da atmosfera, sendo descrita através da Teoria da Parcela, no qual analisa a parcela de ar em relação à atmosfera em circunda (BJERKNES, 1938). A colisão entre os hidrometeoros graupel e cristais de gelo provocam a separação das cargas elétricas, no qual aumenta o campo elétrico das nuvens, fazendo com que gerem raios. Portanto, a temperatura de uma parcela de ar varia adiabaticamente, ou seja, sem troca de calor, à medida que deslocada na vertical, no qual tem pequena variação de distância de sua posição original (EMANUEL, 1983; MOTA, 2007).

As descargas atmosféricas ou relâmpagos, são descargas elétricas que possuem grande extensão e intensidade que acontecem na atmosfera, sendo devido a um canal ionizado, que apresentam divesas ramificações tanto na direção vertical e horizontal (PINTO JR, 2005). Possuem cinco tipos de descargas, sendo elas: intra-nuvem (IN), começa e termina dentro de uma mesma nuvem; nuvem-nuvem (NN), começa em um nuvem e termina em outra; nuvem-ar; (NA), começa em uma nuvem e termina em outro ponto da atmosfera; nuvem-solo (NS), começa na nuvem e termina no solo e solo-nuvem (SN), começa no solo e se propaga até uma nuvem, também chamados de descargas ascendentes.

A ocorrência de raios nuvem solo próxima ou na própria LT, podem causar desligamento por meio de três mecanismos básicos: pela ruptura de isolamento por incidência direta nos cabos condutores ou *Flashover*, ruptura de isolamento por incidência direta nos cabos de blindagem ou *Blackflashover* ou a ruptura direta sobre a linha por incidência de descargas em cabos de blindagem (VISACRO, 2007).

A ocorrência de queimadas em torno das, também causa interrupções da rede de energia, os fatores que induzem a ocorrência e propagação de incêndios estão associados às condições meteorológicas e material combustível disponível para a queima. O material combustível está relacionado com a localização no ambiente tanto aérea quanto superficial e depende da quantidade, essas características causam o foco de ignição e também podem causar a propagação. Além disso o material seco é o principal responsável pela propagação dos incêndios.

As condições meteorológicas também são fatores primordiais para ocorrência do fogo e as variáveis que influenciam são temperatura, umidade, vento e

precipitação, essas variáveis podem influenciar tanto de forma distinta ou combinada (SOARES & BATISTA, 2007). E outro fator que interfere na ocorrência é a ação antrópica. As linhas aéreas são expostas ao ar, em caso de ocorrência de queimadas, ficam diretamente sujeitas à altas temperaturas e materiais em suspensão como a fumaça. Quando ocorre a combinação desses elementos, provocam o mecanismo de *flashover* (SCHIDT, 2019; YI-SHI YUE *et al.*, 2017).

Pu *et al.* (2014) mostraram que a temperatura, a condutividade da chama e as cinzas, são elementos principais para o rompimento da rigidez diéletrica do ar. Além disso, mesmo que o fogo seja cessado, a presença de intenso material particulado na superfície dos isoladores, pode favorecer o aumento da condutividade, causando um novo desligamento (FONSECA *et al.*, 1990). Segundo os dados disponibilizados pelo ONS, a frequência de perturbações nas redes por queimadas no ano de 2021, apresentou o maior patamar cerca de 26,77% perturbações. Costa *et al.*, 2022 mostraram em seu trabalho onde trabalharam com os biomas da Amazônia, cerrado e caatinga no Brasil com a LT 500 kV, destacaram que trechos localizados que apresentam formações de savana, obtiveram maiores chances de interrupções nas LTs oriundas de queimadas.

Na região sul e sudeste do país, a ocorrência de descargas atmosféricas são frequente no verão e primavera, no qual responde a época onde são registrados os maiores números de desligamentos nas redes (ONS, 2022). Isso acontece, devido a maior atividade convectiva sobre a região, oriunda da atuação de sistemas meteorológicos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Frentes Frias (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Como descrito as tempestades estão associadas as nuvens convectivas (Cb), caracterizadas por fortes correntes ascendentes, que com precipitações mais elevadas e que tem duração entre 6 e 12h, muitas vezes conhecidas como Sistemas Convectivos de mesoescala (SCM). Além disso outros sistemas de mesoescala podem afetar a região como o sistemas Convectivos de Mesoescala (CCM), Linhas de Instabilidade (LI) e Sistemas Convectivos Alongados (SCA) (COTTON; ANTHES, 1989). Estes sistemas tendem a ocorrer na região sul e sudeste.

Em relação as queimadas, os maiores índices de desligamentos ocorrem nas estações de inverno e primavera, associados a estação seca em grande parte do Brasil (ONS, 2022). No inverno há forte predominância da influência das latitudes e maritimidades que enfraquecem os ventos de Sudeste e Noroeste, que são

responsáveis pelo transporte de umidade e calor para o continente (CAVALCANTI *et al.*, 2009). A prática de redução e manutenção de biomassa em torno das LTs, contribui para a diminuição de queimadas ao longo do ano, reduzindo a quantidade de material combustível (COSTA, 2022).

Estudos demonstraram que as ocorrências de descargas atmosféricas são mais suscetíveis a eventos climáticos extremos, que podem ser mais frequentes e intensos associados aos cenários futuros com padrões de temperaturas mais altas (NACCARATO, 2022). Santos *et al.* (2017), evidenciaram que a frequência de eventos extremos de descargas atmosféricas tem aumentado nos últimos anos, cerca de 60% dos casos ocorreram entre os anos de 2009 a 2014. Projeções climáticas também indicam um potencial maior de queimadas e incêndios florestais em um cenário de clima futuro (SOUTO, 2021).

É notório que os incêndios e as descargas atmosféricas causam prejuízos no setor de energia elétrica e aos consumidores, e esse cenário de perda econômica deve ser intensificado diante das mudanças climáticas. Desta maneira, a importância e a necessidade entre a relação clima, raios, queimadas e LTs, são fundamentais para o desenvolvimento de novas tecnologias e soluções que possibilitem a mitigação de prejuízos decorrentes.

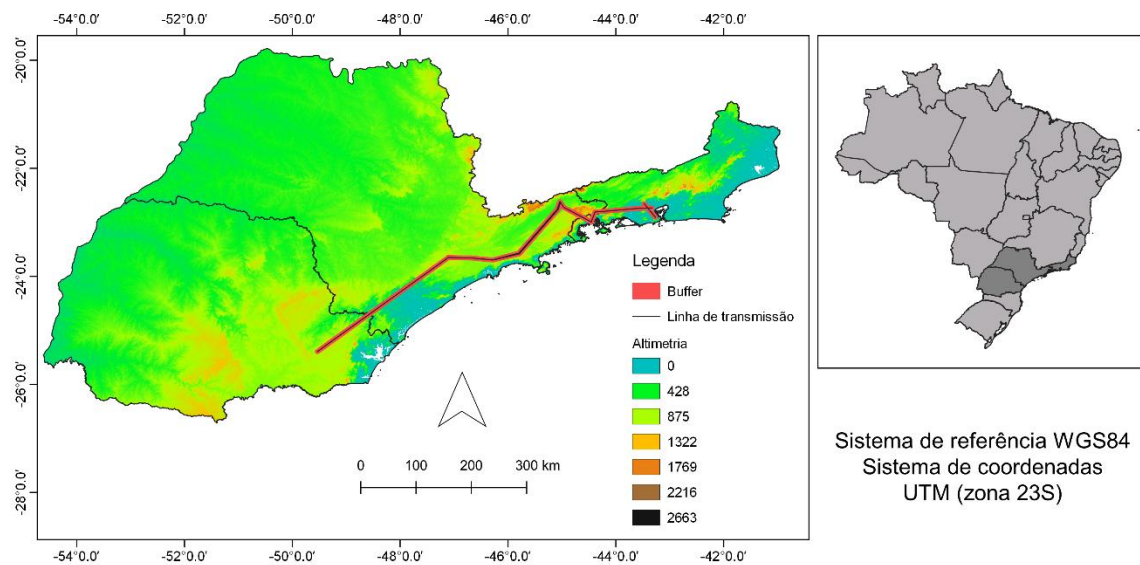
Desta, forma o presente estudo tem como objetivo principal identificar os padrões de temperaturas, precipitação e índices extremos associado aos desligamentos da rede elétrica devido a ocorrência de raios e queimadas, nas linhas de transmissão elétrica nos estados do PR, SP e RJ no período de 2013 a 2020.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende partes das regiões Sul e Sudeste do Brasil, abrangendo os estados do Paraná (PR), São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ). Trata-se da área de servidão da Linha de Transmissão LT 500 kV e LT 345 kV, com extensão de 1078 km no total das linhas. Na Figura 1, é possível observar as LTs e na Tabela 1 são apresentadas suas principais características.

Figura 1. Localização da área de estudo.



Fonte: Autora

Tabela 1. Informações das linhas de transmissão, contendo o nome de cada LT, o comprimento, o início da operação e a empresa que administra.

Linhas de Transmissão	Comprimento [km]	Início da Operação	Empresa
LT 500 kV IBIUNA/BATEIAS C2 SP/PR	328	21/03/2003	FURNAS
LT 345 kV IBIUNA/TIJUCO PRETO C1 SP	97	31/12/1990	FURNAS
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	181	31/12/1990	FURNAS
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C2 SP	181	31/12/1990	FURNAS
LT 500 kV ANGRA FUR /C. PAULISTA C1 RJ	103	31/12/1990	FURNAS
LT 500 ANGRA FUR/SÃO JOSÉ C1 RJ	133	22/03/1999	FURNAS
LT 500kV ADRIANOPOLIS/GRANJAU C1 RJ	55	31/12/1990	FURNAS

Fonte: ONS, ANEEL, GIMAPS (Geoprocessamento e mapeamento para seus Negócios).

2.2. Descrição dos dados

2.2.1. ANEEL

As informações referentes aos desligamentos das LTs, foram disponibilizadas pela ANEEL, através do site GOV, contendo data, horário e causa de cada desligamento durante o período de 2013 a 2020.

2.2.2. RINDAT

A Rede Integrada Nacional de Detecção Atmosféricas (RINDAT) é uma rede de detecção de descargas atmosféricas, estabelecida no Brasil desde 1998, possui sensores que operam com a tecnologia desenvolvida pela Vaisala. Esta é uma rede híbrida que apresenta diferentes sensores (LPATS, IMPACT, LS7000 e LS7001), que emprega tecnologias diferentes, algumas usam o método de TOA, outras usam a combinação do TOA e do método *direction magnetic finder* (MDF). Operam na faixa de frequência LF 30-300 KHz. Esta rede é integrada com FURNAS (Eletrobrás), SIMEPAR (Sistema meteorológico do Paraná), CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e o INPE (Instituto nacional de Pesquisas Espaciais) (RINDAT, 2022).

Dados de descargas elétricas do tipo nuvem-solo, referentes ao período de 2005 a 2011, foram usados. Estes dados contêm informações sobre data e horário. A detecção de raios nuvem-solo apresenta uma eficiência de detecção entre 70% e 90%, com precisão de localização média entre 0,5 km e 2 km (RINDAT, 2022). A distribuição dos sensores para a área de estudo é mostrada na Figura 2.

Figura 2. Distribuição dos sensores para a área de estudo (PR, RJ E SP).



Fonte: Naccarato, 2016.

2.2.3. BrasilDAT

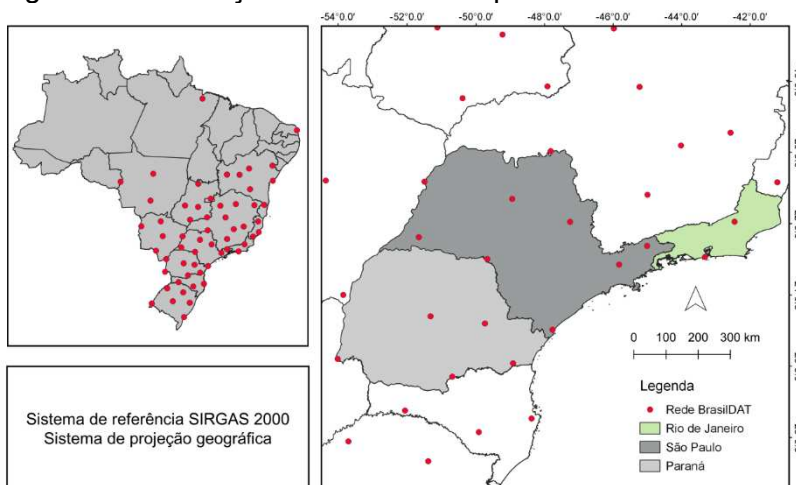
O Sistema Brasileiro de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT) é uma rede de detecção operada pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em cooperação com a rede de detecção global *Earth Networks*. A BrasilDAT é a terceira maior rede do mundo, sendo a maior da região tropical do planeta. Os sensores utilizados empregam o método *time-of-arrival* (TOA) para detecção das descargas de retorno e operam na faixa de frequência entre 1 Hz e 12 MHz.

A rede de detecção conta com 70 sensores distribuídos nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, composta pela integração de três redes regionais: Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas e Eventos Meteorológicos (SIDDEM), Rede de Detecção de Raios do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) e Rede Integrada de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT), composta pela união das redes de detecção do Sistema Meteorológico do Paraná

(SIMEPAR), Eletrobras FURNAS, INPE e Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) (NACCARATO *et al.*, 2014; PINTO JR, 2008).

Complementando o período de dados do estudo, foram também utilizados dados de descargas elétricas do tipo nuvem-solo, referentes ao período de 2012 a 2020, oriundos da BrasilDAT. Estes dados contêm informações sobre data e horário, com erro de localização de 500 m, precisão de 1 km e eficiência de 90%; maiores detalhes sobre a rede de sensores podem ser encontrados em Naccarato *et al.* (2016); Pinto Jr. e Pinto (2018) □ A distribuição dos sensores para a área de estudo (PR, SP e RJ) é mostrada na Figura 4.

Figura 3. Distribuição dos 5 sensores para a área de estudo no PR, SP e RJ.



Fonte: Autor (a)

2.2.4. Focos de fogo ativo

Dados de focos de fogo ativo detectados entre 2005 e 2020 foram obtidos por meio da plataforma do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (INPE, 2022). Para a análise temporal das queimadas, foram utilizados dois satélites, o “*Earth Observation System (EOS) AQUA polar orbiting satellite*” do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*, com resolução espacial de 1 km, definido neste trabalho como “AQUA” no período de 2005 a 2020 e o “*Suomi National Polar orbiting Partnership*”, S-NPP, com o sensor “*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*” (VIIRS), com resolução espacial de 375 m no período de 2012 a 2020.

Para identificar a ocorrência de queimadas ao longo das LTs de acordo com as informações de desligamentos, foram utilizados os dois satélites mencionados acima e o satélite “*National Oceanic Atmospheric Administration*”, NOAA-20, com sensor “*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*” (VIIRS), com resolução espacial de 375 m no período de 2012 a 2020. Maiores informações podem ser acessadas via <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>>.

2.2.5. Variáveis meteorológicas

Dados diários de reanálise foram utilizados, para avaliação das condições atmosféricas ao longo das LTs disponíveis no ERA5 (Copernicus Climate Data Store) (Hersbach *et al.*, 2020) no período de 2005 a 2020. As variáveis utilizadas foram precipitação, temperatura e Energia Potencial Convectiva Disponível (CAPE) a CAPE é uma variável utilizada na análise de tempestades mais severas, pois fornece uma estimativa do limite superior para a velocidade vertical da corrente ascendente em uma nuvem convectiva (DOSWELL & RASMUSSEN, 1994). Muitas vezes ela tem influência direta nas descargas atmosféricas, pois quanto maior o valor de CAPE, maior a suscetibilidade de ocorrência de raios. Este conjunto de dados de reanálise representa a 5ª geração derivada do *modelo European Centre for Medium-Range-Range Weather Forecasts* (ECMWF), com resolução horizontal de 0,25° x 0,25°, disponível em <<https://cds.climate.copernicus.eu/>>.

2.3. Análise dos dados

Para identificar a ocorrência de raios e queimadas que podem ter ocasionado desligamentos ao longo das LTs, foi definido um “buffer” com 4 km de diâmetro entorno das linhas em relação aos raios e 2 km para as queimadas. Essa distância permite contabilizar os erros de localização de ambos os dados, além disso, os valores dos buffers foram definidos analisando a distância da ocorrência dos possíveis candidatos de raios ou queimadas associados aos desligamentos das LTs fornecidos pela ANEEL. Para a identificação do fogo ativo que podem ter ocasionado os desligamentos de acordo com as datas relatadas pela ANEEL, foram considerados dois dias antes e um dia posterior ao evento.

Para identificar o padrão espacial das variáveis meteorológicas, foram calculadas as médias anuais para cada estação do ano e posteriormente calculado o desvio padrão para cada estação.

2.4. Índices extremos climáticos de precipitação

Em adição as análises climatológicas de temperatura e precipitação, índices extremos climáticos foram analisados a partir do software *RclimDex* versão 1.0. O software *RclimDex* é uma biblioteca computacional gratuita, desenvolvida por Zhang e Yang (2004). Este pacote calcula 27 índices principais de clima extremos definidos pelo *Expert Team on Climate Change Detection and Indexes* (ETCCDMI). A biblioteca tem controle de qualidade dos dados diários de entrada. Para o trabalho foram utilizados 4 índices extremos climáticos de precipitação (Tabela 2).

Tabela 2. Índices extremos climáticos obtidos pelo RclimDex relacionados aos dados diários de precipitação (PRCP) no período de 2005 a 2020.

Sigla	Nome do Índice	Definição	Unidade
R10	Número de dias com precipitação acima de 10 mm	Número de dias com PRCP \geq 10mm	Dias
R20	Número de dias com precipitação acima de 20 mm	Número de dias com PRCP \geq 20mm	Dias
R95p	Extremos de precipitação	Precipitação anual total em que RR > 95 percentil	mm
CDD	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com \leq RR 1mm	Dias

Fonte: Autora

De acordo com o Manual do Usuário do *RclimDex* (1.0) (Zhang & Yang, 2004), as definições dos índices utilizados no trabalho são:

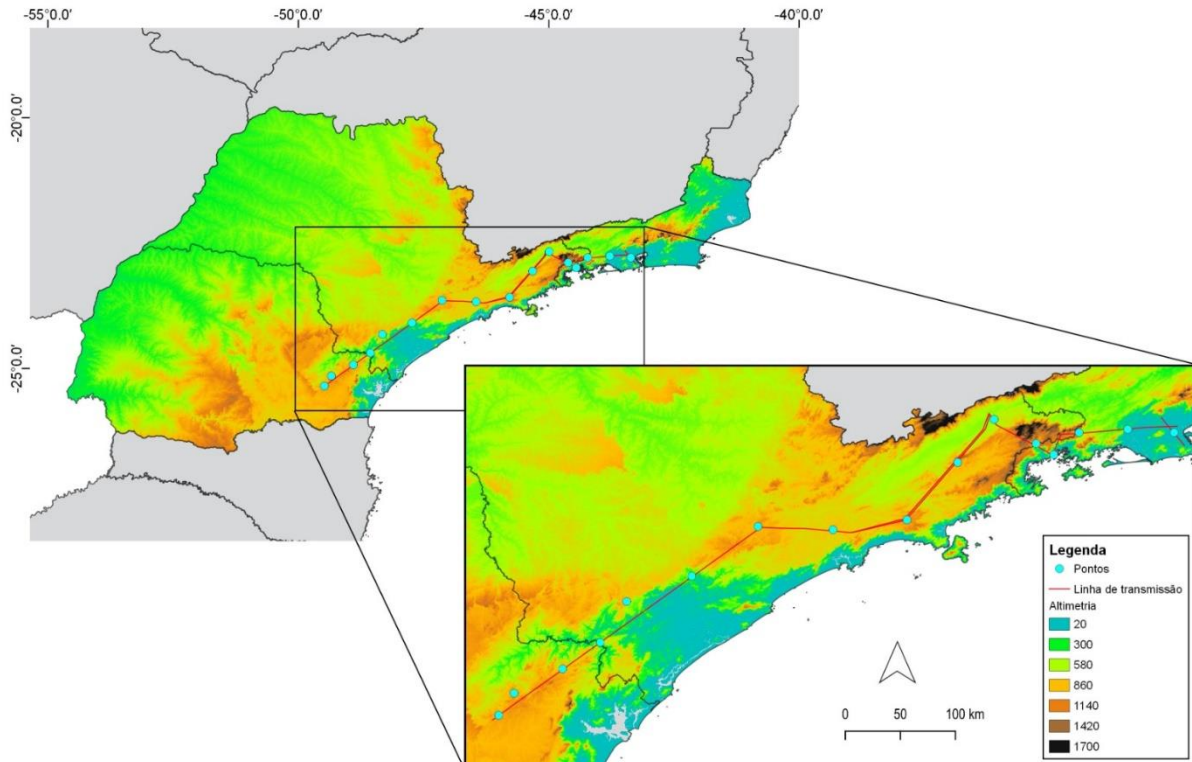
Número de dias com precipitação acima de 10 mm (R10): Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação no dia *i* e no período *j*. O número de dias com precipitação deve ser maior ou igual a 10 mm.

Número de dias com precipitação acima de 20 mm (R20): Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação no dia i e no período j . O número de dias com precipitação deve ser maior ou igual a 20 mm.

Duração máxima do período seco, número máximo de dias consecutivos com $RR < 1\text{mm}$ (CDD): Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação no dia i no período j . A PRCP total anual quando $RR > 95p$ ($Rp95$). Seja RR_{wj} a quantidade diária de precipitação em um dia úmido w ($RR \geq 1,0\text{mm}$) no período i e seja $RR_{wn 95}$ seja o 95th percentil de precipitação em dias úmidos. W representa o número de dias úmidos no período.

A determinação dos índices ao longo da LT foi realizada referente ao período 2005 a 2020. Posteriormente foram delimitados alguns pontos próximos as LTs (Figura 4) para verificar o comportamento do índice. Esses pontos ao longo da LT, foram escolhidos aleatoriamente, os pontos iniciam-se no PR a partir do início da LT na ordem 1, 2,3 e 4.

Figura 4. Localização do pontos utilizados para o cálculo dos índices extremos de precipitação próximo da LT e altimetria da região.



Fonte: Autora

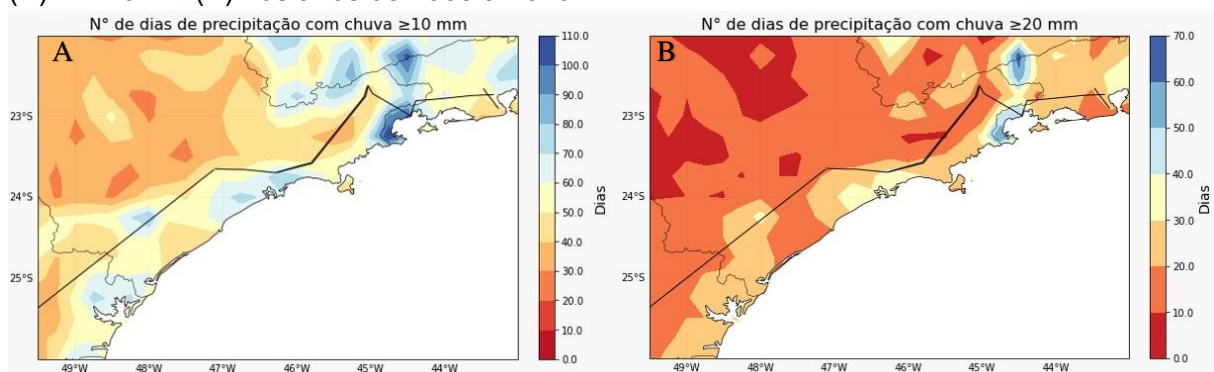
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Índices extremos de precipitação

Estudar os índices extremos é importante, pois eles fornecem mais detalhes sobre o comportamento de cada variável ao longo do tempo e frente aos cenários de mudanças climáticas é relevante compreender esses índices em cada região, para tomadas de decisões futuras.

A Figura 5a é apresentado o número de dias de precipitação ≥ 10 mm (R10) no período de 2005 a 2020. Percebe-se que no entorno das LTs os números de dias de precipitação não apresentou diferenças substanciais entre as regiões, apenas na parte oeste do RJ, onde indica maior número de dias com precipitação. O número de dias com precipitação ≥ 20 mm (R20) Figura 5b, não apresenta diferenças significativas entre as regiões, variando entre 10 a 40 dias.

Figura 5. Número médio de dias de precipitação em torno das LTs com precipitação ≥ 10 mm (A) e ≥ 20 mm (B) nos anos de 2005 a 2020.



Fonte: Autora

A Figura 6a, é observado o índice R10 para os pontos 1, 2, 3 e 4 ao longo da LT para o PR. Nota-se que o ponto 3 apresentou uma discrepância em relação aos outros pontos, essa diferença pode estar associada as chuvas localizadas na região. Para o ponto 1 localizado mais ao sul da LT, ponto 2 e ponto 4 localizado mais ao norte da LT os valores ficaram próximos, porém o ponto 2 apresentou em 2015 maior pico. É possível notar, que nos pontos 1, 2 e 3, houve uma redução na frequência de chuvas ≥ 10 mm, para o ponto 4 apresenta pouca variação.

A Figura 6b, observa-se o índice R20, os pontos não foram discrepantes, apresentando um valor extremo maior no ponto 3 no ano de 2015 e menor no ponto 4

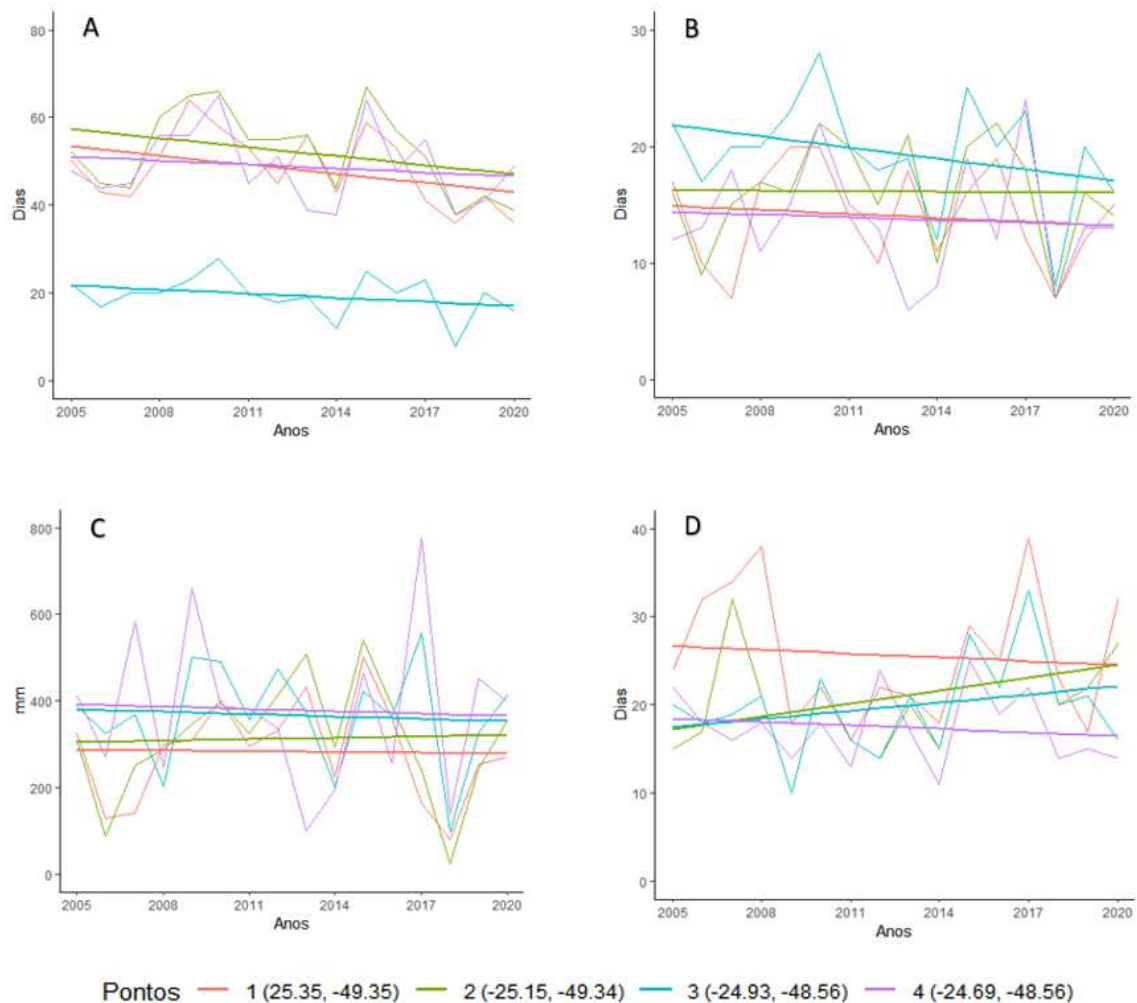
em 2013. É possível notar que o ponto 3, apresenta redução na frequência de chuvas ≥ 20 mm, enquanto que os demais pontos apresentaram pequena variação.

Como indicado nas Figuras 6a e 6b, o ano de 2015 apresentou maiores picos de dias de precipitação. Esses maiores valores estão relacionados com o fenômeno *El Niño* em que foi considerado forte no ano de 2015. Ferreira *et al.* (2017) e Mcphaden (2015) encontraram em seus resultados maiores volumes no ano de 2015 devido ao *El Niño*. Em 2018 a *La niña* foi moderada, mas os valores baixos podem estar associados a ela.

A Figura 6c observa-se o índice R95p, no qual é a soma dos totais pluviométricos anuais dos dias em que a precipitação ficou acima do percentil 95, notou-se que os pontos ao longo dos anos não apresentaram diferenças distintas, mas o extremo maior pode ser verificado no ponto 4 no ano de 2017 com precipitações de 777 mm, e o menor valor é encontrado no ponto 2 no ano de 2018, com precipitação 25,9 mm. Os pontos ao longo dos anos apresentaram pequena variação. Esse valor baixo encontrado pode estar relacionado a *La Niña* como mencionado anteriormente.

A Figura 6d, observa-se o índice CDD, em que apresenta o número máximo de dias secos consecutivos no ano. Os valores encontrados em cada ponto variaram sendo que o ponto 1 apresentou o maior valor no ano de 2017 e o ponto 3 o menor valor no ano de 2013. É possível notar enquanto os pontos 2 e 3 apresentaram um aumento na frequência de dias secos, os pontos 1 e 4, indicaram redução. No ano de 2017 a *La Niña* também atuou, sendo a possível causa de maiores valores de dias consecutivos mais secos.

Figura 6. Extremos de precipitação para alguns pontos ao longo da LT para o PR (A): R10 (B): R20, (C): R95p e (D): CDD nos anos de 2005 a 2020



Fonte: Autora

A Figura 7a, é observado o índice R10 para alguns pontos ao longo da LT para o RJ. Nota-se que o ponto 1 localizado a Leste da LT apresentou uma discrepância em relação aos outros pontos. Para os pontos 2, 3 e 4 os valores ficaram próximos. É possível notar, que todos os pontos, apresentaram uma redução na frequência de chuvas ≥ 10 m.

A Figura 7b, observa-se o índice R20. No ponto 1 verifica-se que houve uma discrepância, indicando um valor extremo maior no ano de 2010 e menor no ano de 2014. Nos demais pontos os valores foram próximos. É possível notar que todos os pontos, apresentaram uma redução na frequência de chuvas ≥ 20 mm.

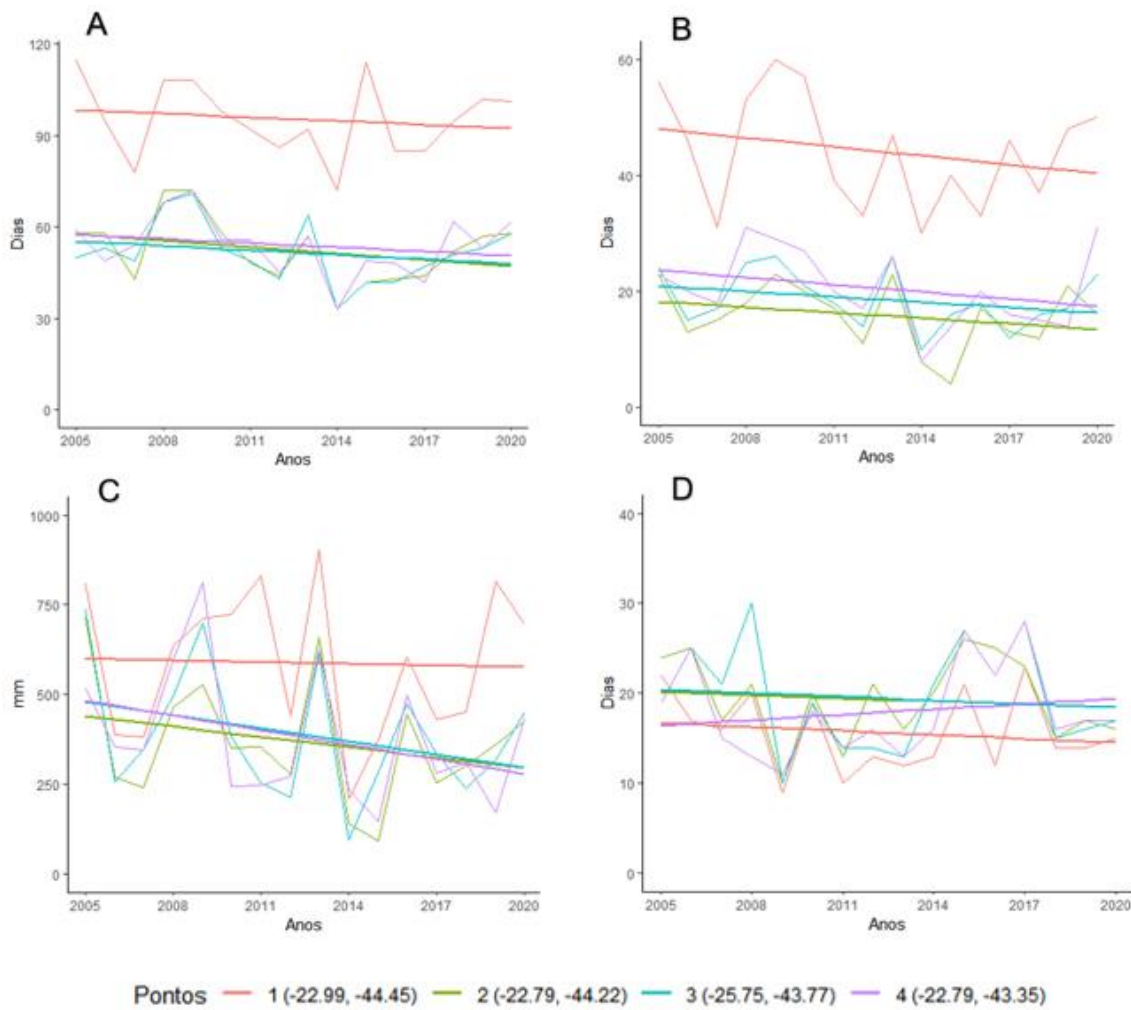
A Figura 7c, observa-se o índice R95p, os pontos ao longo dos anos não apresentaram diferenças distintas, mas o extremo maior pode ser verificado no ponto

1 no ano de 2013 com precipitações de 903,7 mm e o menor valor no ponto 2 no ano de 2015, com precipitação 93,4 mm. O ponto 1 apresenta pouca variação em relação aos pontos 2, 3 e 4 em que apresentaram redução ao longo dos anos.

Como indicado nas Figuras 7a, 7b e 7c, o ano de 2014 apresentou o menor pico em relação aos outros anos, essa justificativa se deve aos bloqueios atmosféricos, devido a alta pressão que se estendeu sobre Oceano Atlântico. No ano de 2013 (R95p) apresentou pico maior de chuva, devido a presença da ZCAS. Sendo corroborado no estudo de Verdan & Silva em 2022.

A Figura 7d, observa-se o índice CDD. Os valores encontrados em cada ponto variaram. No ponto 3 indicou o maior valor extremo no ano de 2008 e o ponto 1 o menor valor no ano de 2009. É possível notar, que os pontos 1, 2 e 3 apresentaram uma pequena redução na frequência de dias secos, enquanto o oposto é notado no ponto 4.

Figura 7. Extremos de precipitação para alguns pontos ao longo da LT para o RJ (A): R10 (B): R20, (C): R95p e (D): CDD nos anos de 2005 a 2020.



Fonte: Autora

A Figura 8a, é observado o índice R10 para alguns pontos ao longo da LT para SP. Nota-se que o ponto 5 apresentou valores mais elevados, quando comparado com os demais pontos, apresentando um pico em 2015, em contrapartida, o ponto 7 apresentou o menor pico em 2014. Os valores dos pontos analisados se mativeram sempre próximo um dos outros, com excessão do ponto 5. Além disso, é possível notar que todos os pontos apresentaram uma redução na frequência de chuvas ≥ 10 mm.

A Figura 8b, observa-se o índice R20, o ponto 5, assim como no índice R10, apresentou valores maiores em relação aos outros pontos, sendo o valor máximo no ano de 2009 e mínimo no ano de 2007, enquanto que o ponto 6 apresentou o menor pico dentre os pontos, em 2014. Nos demais pontos os valores ficaram próximos. É

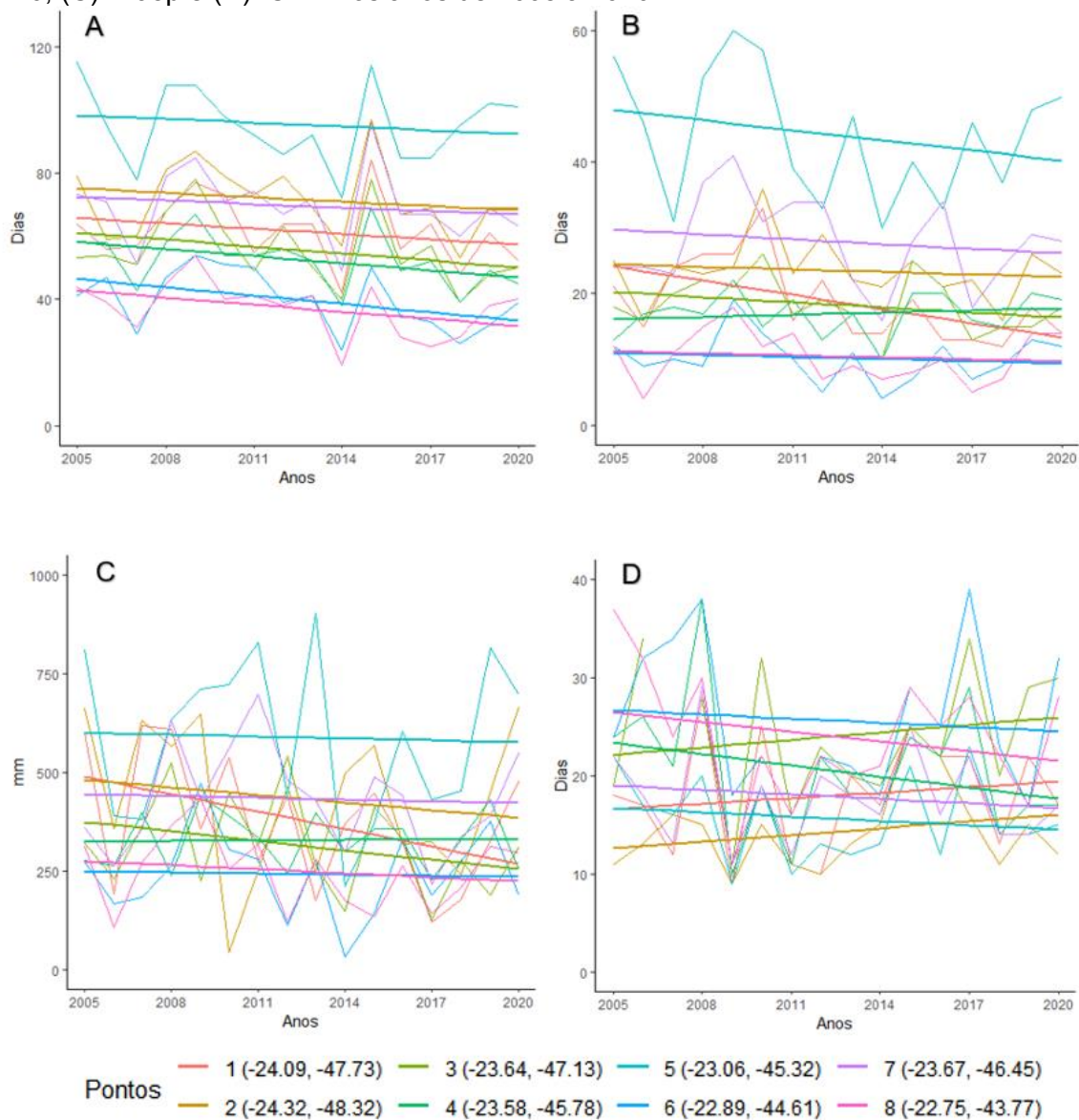
possível notar redução na frequência de chuvas ≥ 20 mm para todos os pontos, com exceção do ponto 4 que indicou leve aumento na frequência.

A Figura 8c, observa-se o índice R95p, notou-se que os pontos ao longo dos anos não apresentaram diferenças distintas, mas o extremo maior pode ser verificado no ponto 5 no ano de 2013 com precipitações de 903,7 mm e o menor valor no ponto 6 no ano de 2014, com precipitação de 30,7 mm. Os pontos 1, 2, 3, 7 e 8 apresentaram uma pequena redução, os pontos 4, 5 e 6 apresentaram pouca variação ao longo dos anos.

Como indicado nas Figuras 8a, 8b e 8c, o ano de 2014 apresentou o menor pico em relação aos outros anos, podendo ser justificado pelo fato de ter sido um ano quente e bastante seco em grande parte do Sudeste, afetando principalmente o estado de SP, o que acarretou em crise hídrica (COELHO, 2015). Essa crise, foi determinada por um sistema de alta pressão intenso que se prolongou sobre o Oceano Atlântico, favorecendo sistemas de bloqueios, impedindo a entradas de chuvas sobre a região, corroborando assim para ocorrências de queimadas. Os anos de 2015 (R95p) e 2013 (R10), apresentaram picos maiores de chuva, pois nos primeiros trimestres do ano, ocorreram chuvas mais elevadas sobre SP como sistemas de ZCAS e El Niño.

A Figura 8d observa-se o índice CDD. Os valores encontrados em cada ponto não apresentaram diferenças distintas, o ponto 6 apresentou o maior valor no ano de 2017 e os pontos 1, 2, 3 e 5 o menor valor no ano de 2009. É possível notar, que os pontos 1, 2 e 3 apresentaram um aumento na frequência de dias secos em relação aos pontos 5, 6, 7 que apresentaram uma redução na frequência de dias secos. Além disso, observou-se picos altos no ano de 2017, isso pode ser explicado devido a atuação da La Niña.

Figura 8. Extremos de precipitação para alguns pontos ao longo da LT para SP (A): R10 (B): R20, (C): R95p e (D): CDD nos anos de 2005 a 2020.



Fonte: Autora (a)

Observando as figuras é possível notar a diminuição da precipitação. Essa diminuição pode estar relacionada com as alterações climáticas que vem ocorrendo nos últimos tempos. Estudos mostraram o comportamento da chuva na América do Sul, e apontaram que parte da região Sudeste associado a ZCAS, apresentou uma diminuição nos volumes anuais e sazonais da precipitação (MARRAFON *et al.*, 2020).

Essa redução no número de dias de precipitação pode estar associada ao desmatamento na região Amazônica, fazendo com que tenha um aumento da temperatura, consequentemente afetando o clima e a hidrologia na região, sendo assim, favorecendo ao enfraquecimento da ZCAS (MARENGO *et al.*, 2015). Porém,

os dados inferidos são apenas 15 anos, dessa forma não se pode afirmar que está tendo uma variação na precipitação nesse período, para isso é necessário acrescentar um período maior de dados.

3.3. Sazonalidade dos raios e queimadas em torno das linhas de transmissão

A análise da sazonalidade dos raios em torno das LTs para os estados do PR, RJ e SP (Figuras 9, 10 e 11), indica que a maior atividade de descargas atmosféricas do tipo nuvem-solo ocorre no verão (DJF), seguido da primavera (SON), em sequência outono (MAM) e por último o inverno (JJA). O período de dados é 2005 a 2011 é referente a RINDAT e de 2012 a 2020 é da BrasilDAT. Importante destacar que os sensores de redes como a Rindat e Brasildat podem ter problemas de operação, o que afetará a eficiência de detecção dos raios.

Na Tabela 3, pode-se observar a relação de porcentagens de raios para cada estado e a relação da extensão das LTs no período de 2005 a 2020 referentes as redes de detecção de raios (RINDAT - 2005 a 2011) e (BrasilDAT – 2012 a 2020) para a estação do verão.

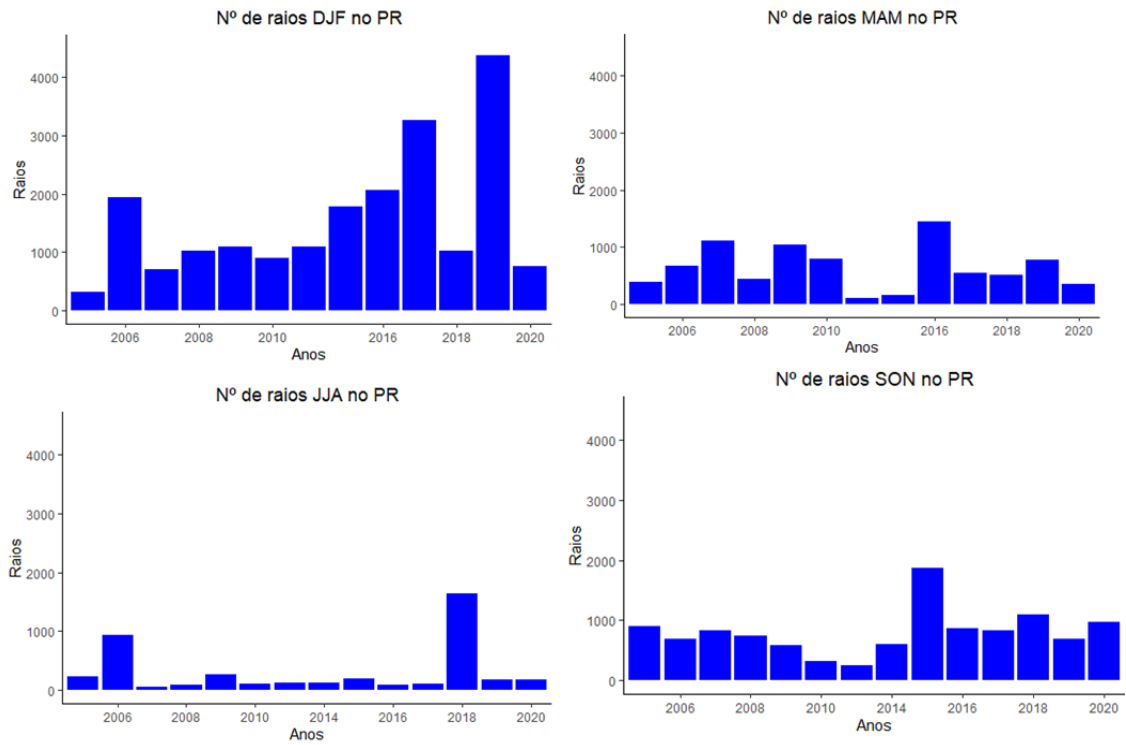
Tabela 3. Extensão das LTs e número de descargas atmosféricas anual no verão para São Paulo, Paraná e Rio de Janeiro no período de 2005 e 2020.

Estado	Extensão das LTs (km)	%	Nº de Descargas atmosféricas	%
São Paulo	662	61	242965	74,55
Paraná	125	12	20360	6,25
Rio de Janeiro	291	27	62558	19,20
Total	1078	100	325883	100

Fonte: Autora

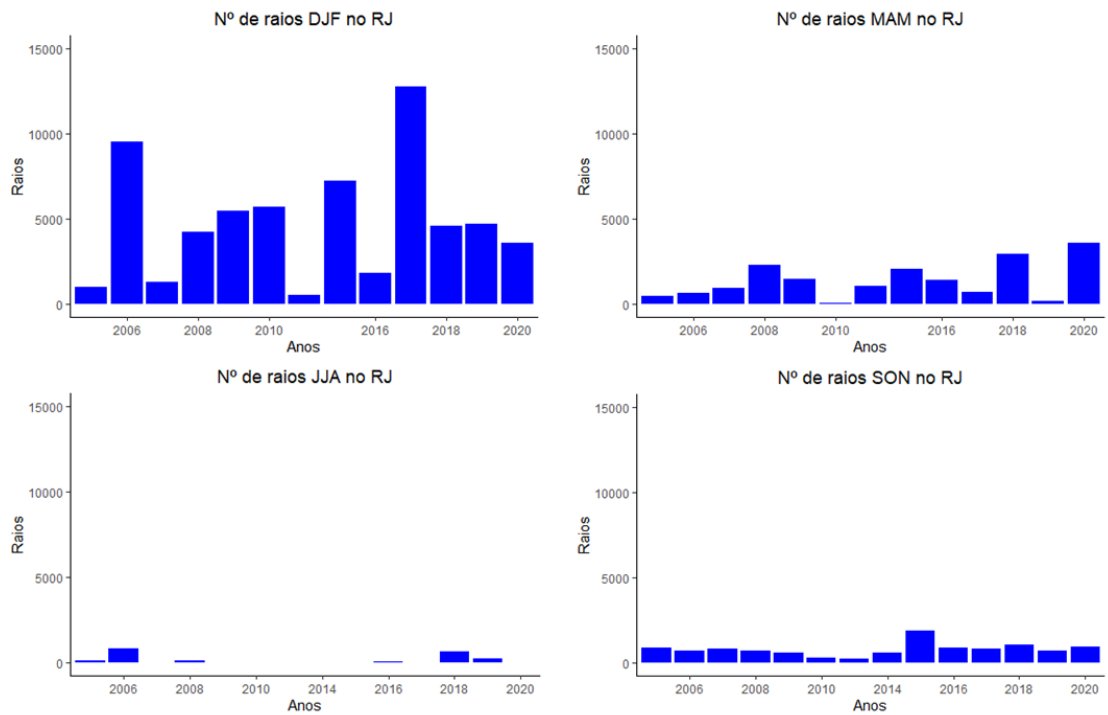
Observa-se no entanto que SP detém 61,40% da extensão de linhas de transmissão e 74,55% do número de registro de ocorrências de descargas atmosféricas nuvem-solo. A proporção para os estados do PR e RJ, praticamente se assemelha, quando correlacionados a extensão de linhas e número de ocorrências de descargas atmosféricas, conforme pode-se observar na Tabela 3, sendo que o PR possui 12 % das linhas de transmissão para 6 % de ocorrência de descargas atmosféricas e o RJ com 27% da extensão de linhas e 19 % da ocorrência de descargas atmosféricas.

Figura 9. Número de raios sazonais no Paraná, no período de 2005-2020.



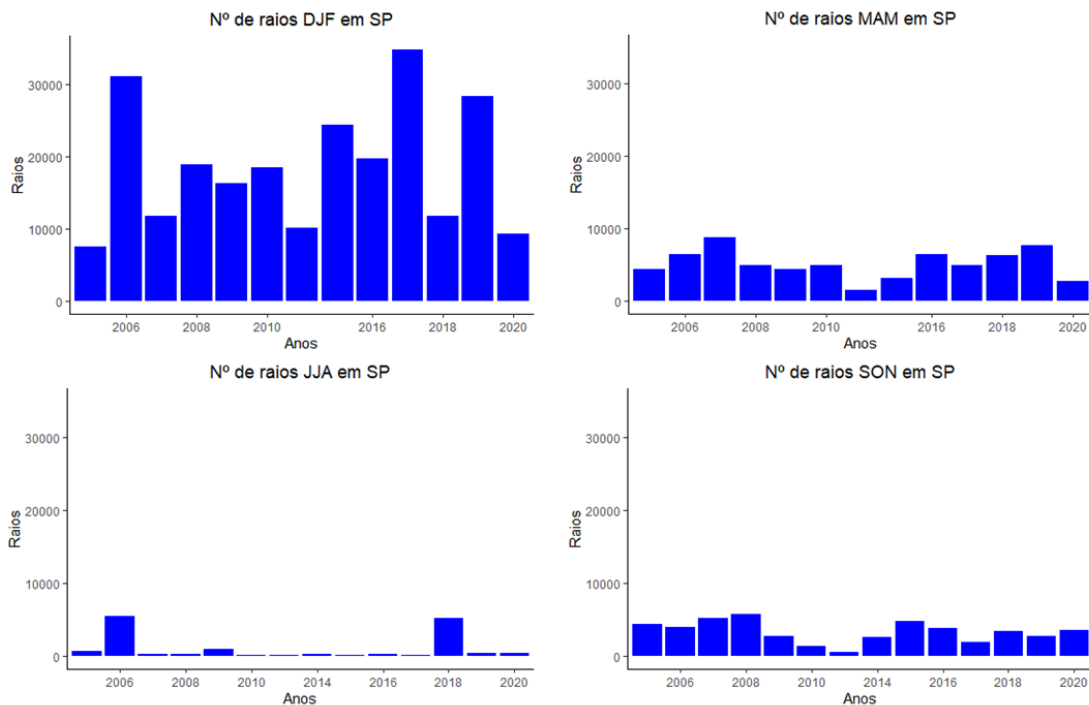
Fonte: Autora

Figura 10. Número de raios sazonais no Rio de Janeiro, no período de 2005-2020.



Fonte: Autora

Figura 11. Número de raios sazonais em São Paulo, no período de 2005-2020.



Fonte: Autora

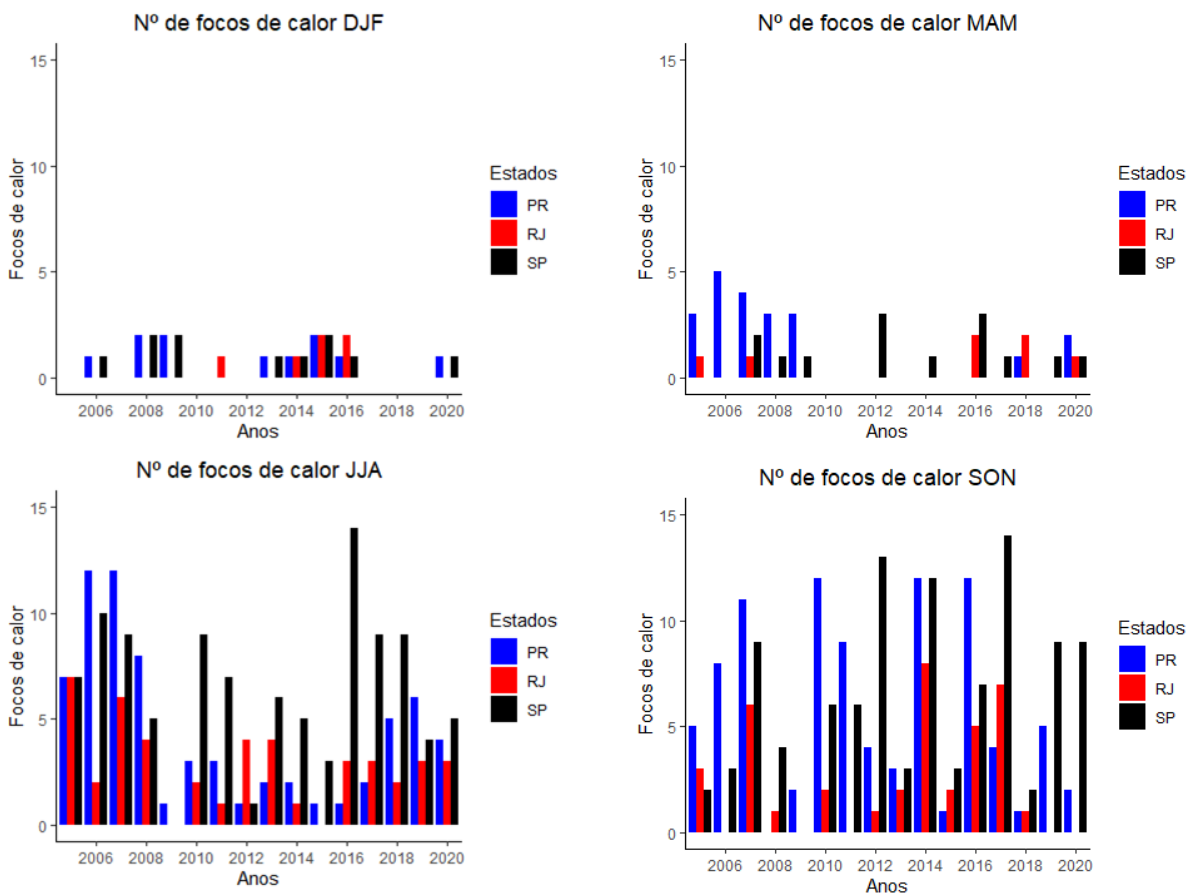
A maior ocorrência de raios nos trimestres de DJF e SON está associada ao período que favorece as maiores atividades convectivas sobre as regiões, isto é, ocorre a atuação de sistemas meteorológicos de grande escala, como os sistemas frontais, ZCAS, bem como pela influência dos padrões de circulação de mesoescala (CAVALCANTI, 2009). No inverno, a menor distribuição de descargas atmosféricas associa-se a menor atividade convectiva na região de estudo, que está relacionada ao posicionamento da alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Nesse período a ASAS tem seu descolamento mais a oeste, onde influencia o sudeste do Brasil (REBOITA, 2010). Além disso, há o enfraquecimento dos ventos provenientes do oceano para o continente contribuindo com a diminuição da precipitação e descargas atmosféricas.

Como mencionado, SP apresentou valores maiores de descargas atmosféricas no entorno das LTs, corroborando com o estudo de Santos *et al.* (2016), o qual também demonstra maior densidade de descargas atmosféricas na porção centro-leste do estado de SP em relação as regiões norte, sul e oeste. No presente trabalho, uma parte das LTs está situada nessa região, logo a maior ocorrência de raios pode estar relacionada a topografia, favorecendo o desenvolvimento de nuvens orográficas (HEILMANN, 2018). Schumacher *et al.* (2022), mostram que a distribuição de densidade dos raios nuvem-solo na região Central do Brasil ocorre preferencialmente

sobre a Serra da Mantiqueira e grandes áreas urbanas de SP e RJ durante o outono e verão, coincidindo com as características de topografia no entorno das LTs e sazonalidade para a região.

A sazonalidade de focos ativos detectada pelo satélite AQUA, em torno das LTs pode ser observada na (Figura 12). Onde verificou-se maiores ocorrências de focos de calor durante as estações de inverno com 32 % no PR, 20 % no RJ e 47 % em SP. Na primavera observa-se 39 % no PR, 16 % no RJ e 44 % em SP. A ocorrência de queimadas no verão com 38 % no PR supera os números do inverno 37 %. Nos estados de RJ e SP os focos são reduzidos no verão (20 % e 41 %) em comparação com os valores encontrados no inverno.

Figura 12. Número de focos de calor sazonais do Satélite AQUA no PR, SP e RJ, no período de 2005-2020.



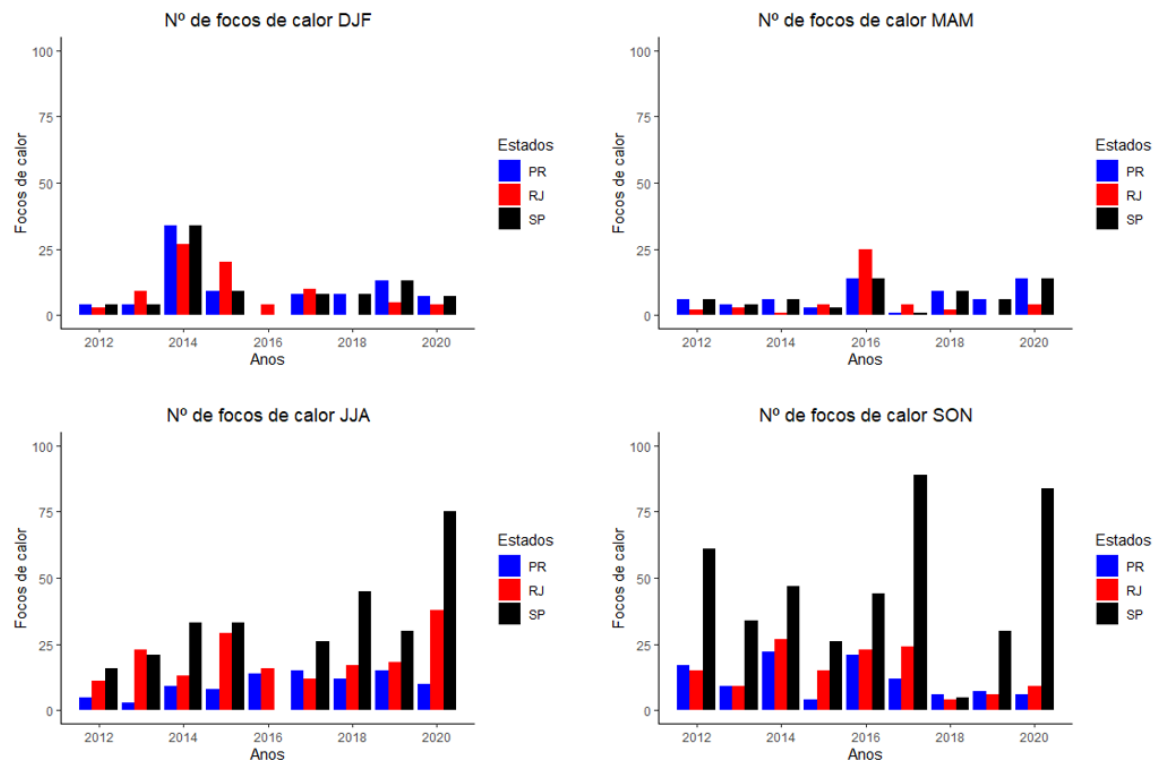
Fonte: Autora

Os valores trimestrais de JJA e SON são maiores, devido ao fato que nesse período do ano, ser a estação seca nas regiões de estudo. Como supracitado, isto está associado ao posicionamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Ramos & Pivello (2000), evidenciaram que durante a estação seca a vegetação está

mais suscetível a se tornar inflamável, devido a baixa umidade. Assim, o teor de umidade do combustível, a baixa umidade do ar e o revelo, entre outros fatores, favorecem o início e a propagação das queimadas (FREIRE *et al.*, 2002; TORRES, 2006).

A Figura 13, apresentam-se os focos de calor detectados pelo satélite S-NPP para os estados do PR, RJ e SP. Ao compará-los com os dados fornecidos pelo satélite AQUA, nota-se que a maior ocorrência de focos de calor também acontece nas estações de inverno e primavera, e os valores mais baixos no verão e outono. Brenda *et al.*, (2021) evidenciaram que o maior período de queima é entre julho a outubro, sendo o mês de setembro com máxima ocorrência. Porém, o satélite S-NPP detectou mais focos de calor do que o AQUA. Essa diferença está associada a sua maior resolução radiométrica e espacial.

Figura 13. Focos de calor por estação detectados pelo satélite S-NPP para os estados do PR, RJ e SP no período de 2012-2020.



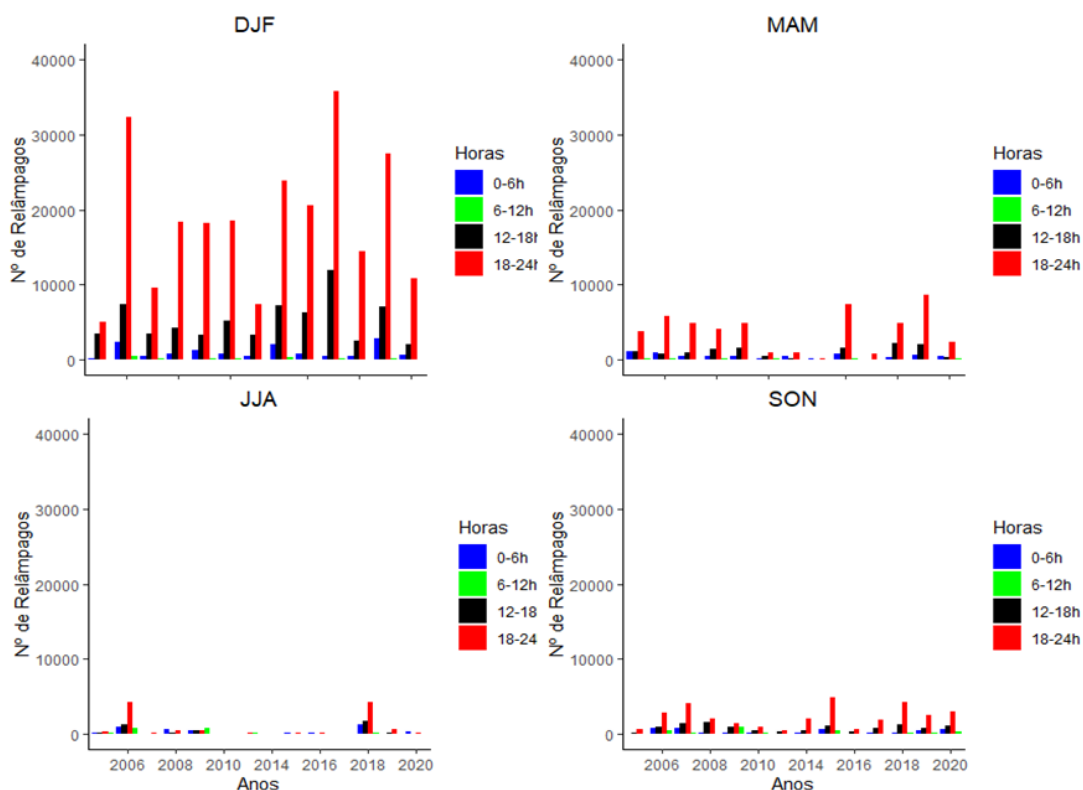
Fonte: Autor(a)

3.4. Frequência dos raios e queimadas em torno das linhas de transmissão

3.4.1. Horário

A Figura 14 mostra a distribuição horária da ocorrência de raios ao longo das LTs. Maior frequência ocorre entre as 18 e 24h (UTC) em todas as estações. Como visto a maioria das tempestades ocorrem no final da tarde ou a noite, posteriormente ao aquecimento radiativo máximo. A instabilidade no final da tarde tende ser mais elevada, por causa do aquecimento diurno elevando o gradiente de temperatura entre a camada limite planetária e o níveis médios da atmosfera. Além disso, conforme ocorre o aquecimento diurno, maior é a capacidade do ar de evaporar a água. Quando a vegetação e o solo estão úmidos, o aquecimento diurno tende a aumentar o ponto de orvalho. E o aumento da umidade favore a liberação de calor latente em tempestades (BARRY; CHORLEY, 2013).

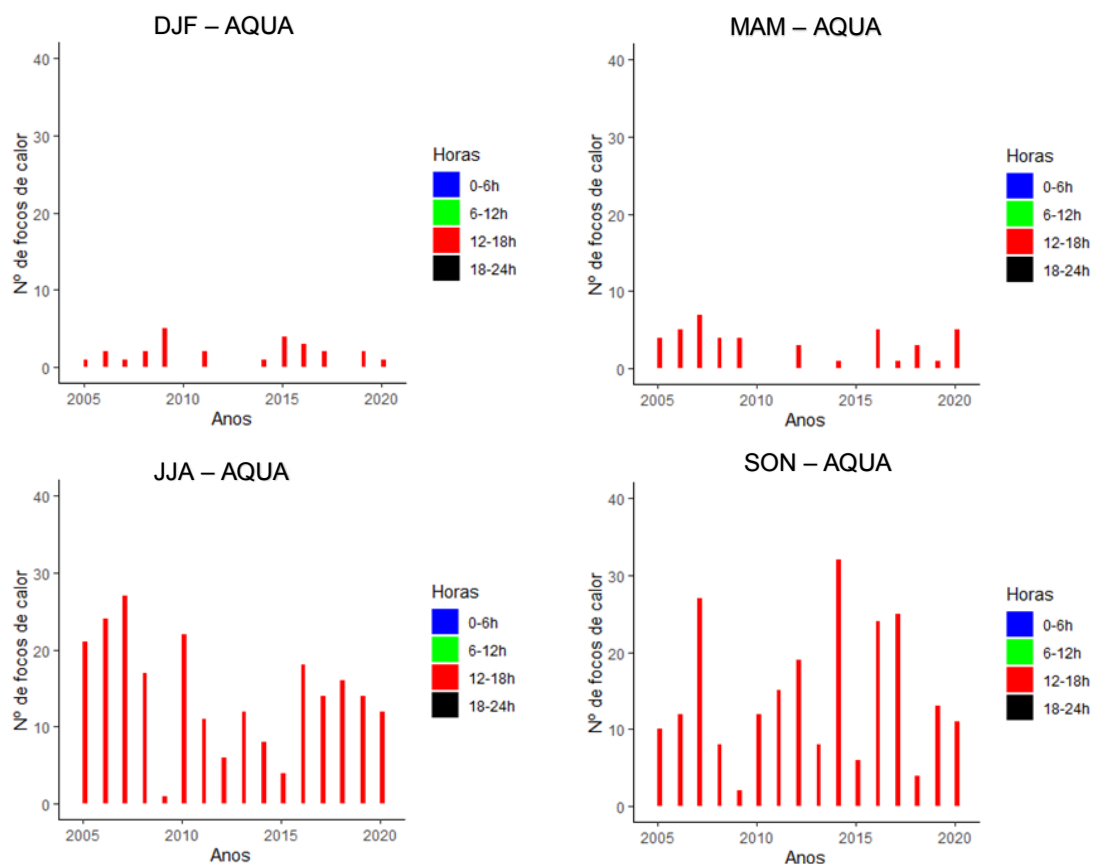
Figura 14. Distribuição horária (UTC) dos raios em torno das linhas de transmissão no período de 2005 a 2020 para cada estação do ano.



Fonte: Autora

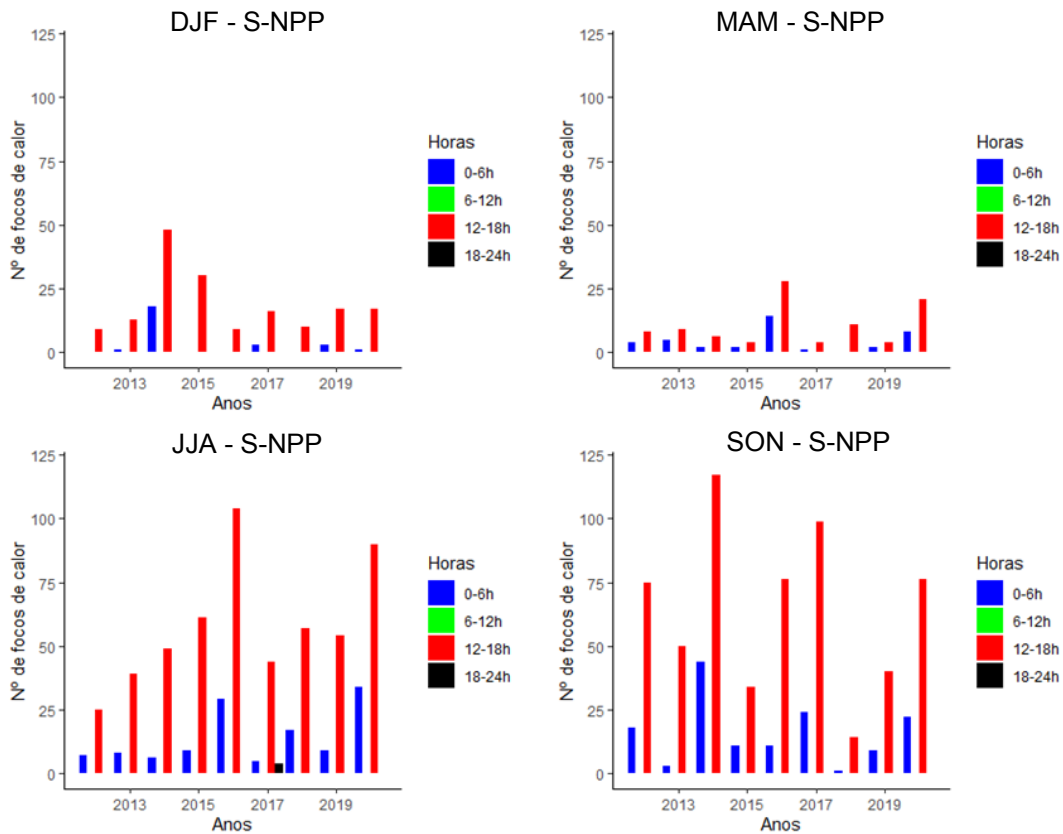
Nas Figuras 15 e 16 é mostrado a distribuição de detecção dos focos de fogo ativo referentes aos satélites AQUA e o S-NPP. Maior frequência de detecção é observado no período da tarde, entre os horários de 12 às 18h (UTC) em todas as estações devido ao horário de passagem do satélite. Na Figura 18, alguns focos foram detectados entre 0 a 6(UTC). É importante destacar que essa frequência está associada ao horário da passagem dos satélites ao detectar os focos de calor e não ao horário em que ocorreram as queimadas. Contudo Torres *et al.* (2010), mostraram que as queimadas ocorrem com maior intensidade entre os horários das 12 às 16 h, período com incidência de radiação solar. De fato a intensidade da radiação solar, influência na temperatura do ambiente, diminuindo a umidade relativa do ar.

Figura 15. Horário dos focos de calor do satélite AQUA em torno das LTs no período de 2005 a 2020.



Fonte: Autor(a)

Figura 16. Horário dos focos de calor do satélite S-NPP em torno das LTs no período de 2012 a 2020.



Fonte: Autor(a)

Por outro lado, a temperatura mínima do ar ocorre pela manhã, madrugada. Portanto, a probabilidade de fogo é pequena durante esse horário devido a alta umidade do ar. Para que o material combustível esteja disponível para queima, é necessário que sua umidade esteja baixa, corroborando com a temperatura mais elevada (SORIANO *et al.*, 2020). Outro ponto importante a se destacar, é que no Brasil a maior parte das queimadas são de origem antrópica, principalmente associado ao manejo agrícola (MANGUEIRA, 2021), sendo que entre 0 - 6h da manhã, as atividades antrópicas são reduzidas.

3.5. Relação entre os raios e focos de fogo ativo X desligamentos elétricos

O número total de desligamentos entre 2013 a 2020 em torno das LTs nas regiões Sul e Sudeste do Brasil fornecidos pela ANEEL é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4. Números de desligamentos nas LT oriundas de raios e queimadas nos anos de 2013 a 2020 pela ANEEL.

Desligamentos das LT	ANEEL (2013-2020) Descargas atmosféricas	ANEEL (2013-2020) Queimada
Ibiúna/Bateias	7	1
Ibiúna/Tijuca	2	1
C.Paulista/Tijuco Preto C1	5	14
C.Paulista/Tijuco Preto C2	6	6
Angra Fur/C.Paulista C1	7	0
Angra Fur/ São José	3	2
Adrianópolis/ Grajau	3	0
TOTAL	33	24

Fonte: ANEEL, 2022.

Os raios destacam-se entre as principais responsáveis pelos desligamentos das LTs. Em relação aos 33 desligamentos reportados devido a raios, 15 foram identificados pelos sensores da BrasilDAT para o mesmo dia reportado pela ANEEL. Uma possível causa em relação aos desligamentos não detectado pelos sensores, pode estar associado às concessionárias classificarem a causa do desligamento como descarga atmosférica, todavia, a ocorrência pode ter acontecido por algum outro motivo (COSTA, 2021). Ou o raio ocorreu e a rede Brasildat não detectou, devido a ED não ser de 100%

A Tabela 5 mostra as datas e os horários dos desligamentos oriundos de raios que afetaram as LTs, disponibilizados pela ANEEL. Foram observados 33 desligamentos, porém apenas 15 (data com *) foram reportados pelos dados de descargas atmosféricas da BrasilDAT.

Importante salientar que os horários dos desligamentos das LTs registrados pela ANEEL não correspondem exatamente ao horário dos raios, apresentam um *delay* (atraso), ou seja, os possíveis raios candidatos a ocasionar o desligamento ocorreram em horário aproximado ou posterior ao reportado pela ANEEL.

Tabela 5. Datas e horários dos desligamentos associados a causa por raios fornecidas pela ANEEL.

Linha de Transmissão	Data	Hora	Confirmação de registro
LT 500 kV IBIUNA/BATEIAS C1 SP/PR	13/02/2013	14:18:00	
LT 500 kV IBIUNA/BATEIAS C1 SP/PR	07/09/2015*	06:26:00	Sim
LT 500 kV IBIUNA/BATEIAS C1 SP/PR	09/10/2015*	00:47:00	Sim
LT 500 kV IBIUNA/BATEIAS C1 SP/PR	22/10/2015*	17:35:00	Sim
LT 500 kV IBIUNA/BATEIAS C1 SP/PR	27/01/2016	17:52:00	
LT 500 kV IBIUNA/BATEIAS C1 SP/PR	05/03/2017*	14:11:00	Sim
LT 500 kV IBIUNA/BATEIAS C1 SP/PR	14/11/2019*	15:56:00	
LT 345 kV IBIUNA/TIJUCO PRETO C1 SP	12/01/2015*	17:09:00	Sim
LT 345 kV IBIUNA/TIJUCO PRETO C1 SP	26/10/2016	23:10:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	24/02/2017*	13:57:00	Sim
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	16/02/2020*	13:37:00	Sim
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	02/02/2020	15:26:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	20/12/2020	19:14:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	20/12/2020	19:14:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C2 SP	07/03/2015*	16:21:00	Sim
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C2 SP	07/03/2017	16:27:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C2 SP	04/01/2019*	18:00:00	
LT 500 kV C. PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	12/12/2015*	17:02:00	Sim
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	14/12/2020*	18:28:00	Sim
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	17/12/2020*	19:55:00	Sim
LT 500 kV ANGRA FUR/ C.PAULISTA C1 SP	09/03/2013	16:52:00	
LT 500 kV ANGRA FUR/ C.PAULISTA C1 SP	21/11/2013	22:03:00	
LT 500 kV ANGRA FUR/ C.PAULISTA C1 SP	01/02/2015*	18:21:00	Sim
LT 500 kV ANGRA FUR/ C.PAULISTA C1 SP	20/12/2015	18:22:00	
LT 500 kV ANGRA FUR/ C.PAULISTA C1 SP	10/02/2016	22:51:00	Sim
LT 500 kV ANGRA FUR/ C.PAULISTA C1 SP	22/12/2018	04:41:00	
LT 500 kV ANGRA FUR/ C.PAULISTA C1 SP	25/02/2019	13:05:00	
LT 500 kV ANGRA FUR/ SÃO JOSÉ C1 SP	08/02/2013	18:26:00	
LT 500 kV ANGRA FUR/ SÃO JOSÉ C1 SP	15/06/2013	21:38:00	
LT 500 kV ANGRA FUR/ SÃO JOSÉ C1 SP	02/01/2014	19:06:00	
LT 500 kV ADRIANÓPOLIS/ GRAJAU C1 RJ	17/02/2016*	18:06:00	Sim
LT 500 kV ADRIANÓPOLIS/ GRAJAU C1 RJ	04/03/2016	01:45:00	
LT 500 kV ADRIANÓPOLIS/ GRAJAU C1 RJ	17/11/2017	00:35:00	Sim

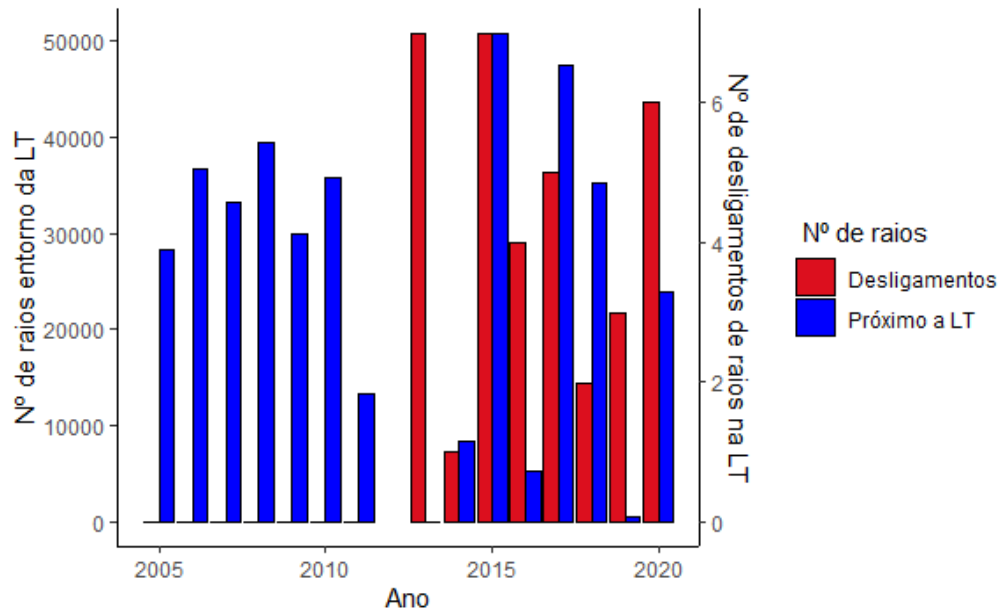
(*Datas que foram observados raios)

Fonte: ANEEL, 2022

A Figura 17 mostra a distribuição do total de raios ao longo das LTs durante o período de 2005 a 2020. Entre 2005 a 2011 é referente a RINDAT e de 2012 a 2020 é da BrasilDAT. Em relação a rede da RINDAT, observou-se um ligeiro aumento no número de raios entre 2005 a 2008 e uma diminuição no ano de 2011. Em relação

rede BrasilDAT a maior quantidade de raios é observado durante os anos de 2015 e 2017 enquanto uma diminuição é notada entre 2016 e 2019.

Figura 17 .Distribuição de raios no período de 2005 a 2020 e desligamentos no período de 2013 a 2020 ao longo da linha de transmissão.



Fonte: Autor(a)

As queimadas também destacam-se entre as principais responsáveis pelos desligamentos das LTs. Cerca de 24 desligamentos foram devido a ocorrência de queimadas no entorno das LTs (Tabela 6), 5 foram detectados pelos satélites na mesma data reportada pela ANNEL, enquanto 3 foram detectados um dia anterior e um foi detectado posteriormente.

A partir dos dados da ANEEL (Tabela 6) e os dados de focos de calor, foram detectados alguns focos ao longo das LTs, sendo que 5 horários, foram detectados pelo satélite NOAA-20 e 4 foram pelo satélite S-NPP. Importante salientar que dos focos relatados, alguns não foram no mesmo dia.

Alguns focos foram detectados a uma distância maior que 1 km, conforme a tabela 8, cinco datas foram detectadas.

Tabela 6. Datas e horários dos desligamentos associados a causa por queimadas fornecidas pela ANEEL.

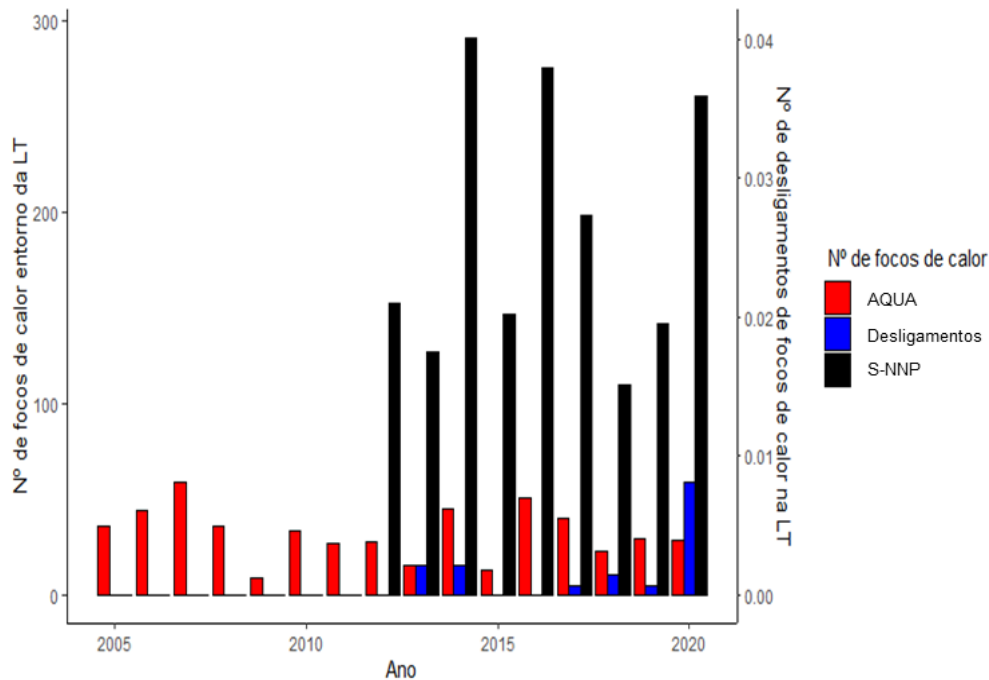
Linha de Transmissão	Data	Hora	Registro
LT 500 kV IBIUNA/BATEIAS C1 SP/PR	26/03/2020	6:26:00	Sim (+1km)
LT 345 kV IBIUNA/TIJUCO PRETO C1 SP	27/09/2020	12:24:00	Sim (+1km)
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	30/10/2014*	12:23:00	Sim(1 km)
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	30/10/2014*	12:23:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	30/10/2014*	12:35:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	30/10/2014*	12:35:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	30/10/2014*	12:35:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	15/09/2017*	13:17:00	Sim (1 km)
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	25/03/2020	14:43:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	25/03/2020	14:43:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	25/03/2020	14:48:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	25/03/2020	14:55:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	25/03/2020	15:17:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	26/03/2020	11:37:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	26/03/2020	14:35:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	26/03/2020	14:35:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C1 SP	27/09/2020	13:01:00	Sim (1km)
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C2 SP	02/10/2018	15:20:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C2 SP	02/10/2020	15:25:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C2 SP	04/10/2019*	13:18:00	Sim (1 km)
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C2 SP	04/09/2020*	14:59:00	Sim (+1 km)
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C2 SP	04/09/2020	14:59:00	
LT 500 kV C.PAULISTA/TIJUCO PRETO C2 SP	11/09/2020	18:28:00	Sim (+1 km)
LT 500 kV ANGRA FUR/ SÃO JOSÉ C1 RJ	08/08/2020*	12:18:00	Sim (1km)

(*datas que foram observados focos de calor)

Fonte: ANEEL

A Figura 20 mostra a distribuição do total dos focos de calor ao longo das LTs, durante o período de 2005 a 2020. Maior quantidade de focos de calor é observado pelo satélite S-NPP durante os anos de 2013, 2015 e 2020 enquanto que uma diminuição é notada entre 2013 e 2017. Além disso nota-se que o NPP apresenta uma maior quantidade de focos de fogo ativo, essa diferença entre os satélites é devido a resolução espacial, o sensor VIIRS tem a resolução melhor. Ainda observou-se que há muito mais focos de fogo do que desligamentos ao longo da rede.

Figura 18. Número de focos de calor e desligamentos ao longo da linha de transmissão no período de 2005 a 2020.



Fonte: Autor(a)

Importante ressaltar que os dias não detectados podem estar associados a limitação dos sensores dos satélites em relação a pequenos focos ou em dias com muita nebulosidade e ainda, incertezas nos registros da ANEEL. Um caso que pode estar associado a nebulosidade é no dia 02/10/2018, no qual foram registradas queimadas pela ANEEL, porém não foram detectados focos pelos satélites. Analisando a imagem de satélite do GOES 16 para esse dia, verificou-se que havia nebulosidade sobre a região de estudo. Além disso, os desligamentos reportados pelas agências podem ser considerados falsos positivos (COSTA, 2021). Esse mesmo autor ainda relata que o sistema de transmissão tem uma margem de erro em relação ao número de desligamentos, ou seja, muitas vezes foram classificados como queimadas de forma equivocada.

Brigídia (2011), correlacionou dados de focos de calor referentes a todos os satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com dados de desligamentos nas LTs no Nordeste e demonstrou que os dados de desligamento nas LTs não foram detectados pelos satélites.

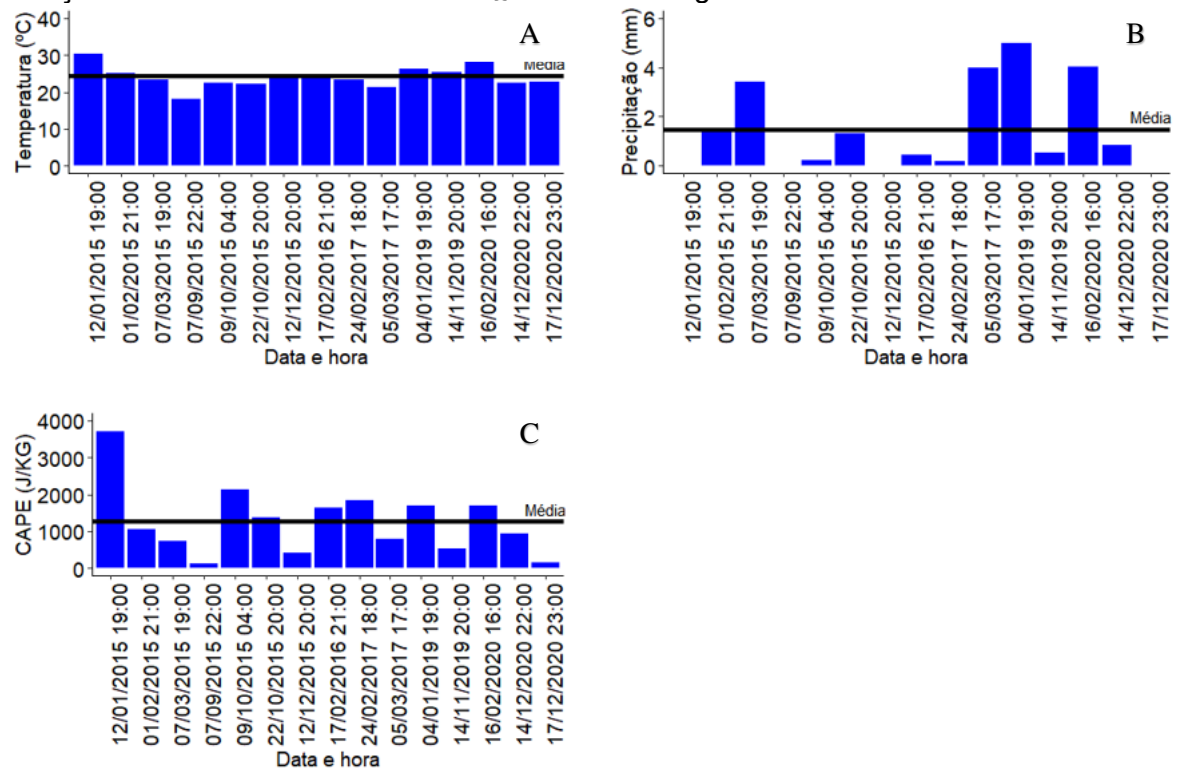
3.6. Raios e focos de fogo ativo X variáveis meteorológicas

As Figuras 19 e 20, apresentam a temperatura, precipitação e CAPE associado aos dias e horários de ocorrência em que foram detectados raios e queimadas, de acordo com os desligamentos reportado pela ANEEL. Em relação a temperatura (Figura 19a), os valores variam de 18 °C a 30 °C com média de 24 °C, o mesmo valor obtido pelo padrão espacial de 24 °C.

O padrão de precipitação associado aos casos de desligamentos varia entre 0 a 5 mm, com média de 1,43 mm (Figura 19b), ou seja, menor do que o observado entre o período de 2005 a 2020 de 3,65 mm/dia. Esse resultado indica que grande parte dos desligamentos ocorreram com a presença de raios seguidos por pouca ou quase nenhuma precipitação, ou seja, com a ocorrência de raios secos no qual podem ser mais propícios a queimadas (SCHUMACHER *et al.*, 2022).

O padrão de CAPE (Figura 19c) varia entre 105 a 3700 J/kg, com média de 1488,17 J/kg, cerca de 53% dos casos de desligamento apresentam CAPE acima 1000 J/kg a média horária espacial é de 5865,2 J/kg. Mattos *et al.* (2017) observaram em um caso de tempestade que o valores de CAPE foram de baixo a moderado. Mecikalski *et al.* (2013), compararam duas tempestades e avaliaram valores de CAPE baixa e alta, a partir disso relataram que as tempestades com CAPE baixo, são designadas por taxas de desenvolvimento mais lenta e constante, assim os valores baixo de CAPE em tempestades, estão associados a correntes associados fracas e apresenta desenvolvimento anterior de processos de chuva quente.

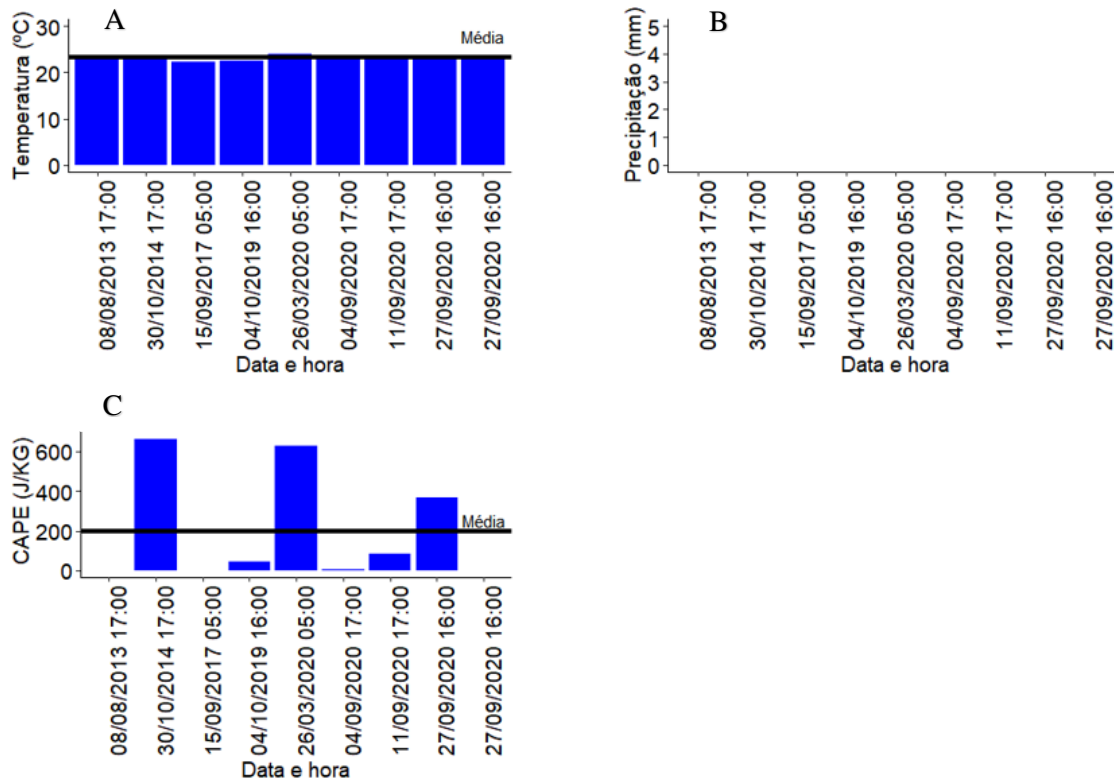
Figura 19. Distribuição da temperatura °C (A), precipitação mm, (B) e CAPE J/kg (C) em relação aos raios candidatos ao desligamento ao longo da LT.



Fonte: Autora

Na Figura 20a os valores de temperatura ficaram entre 22 e 23°C com média de 23,6 °C, próximo do valor obtido pelo padrão espacial de 24 °C. Os valores de precipitação associado aos casos de desligamentos foram 0 mm (Figura 20b), ou seja, menor do que o observado entre o período de 2005 a 2020. Esse resultado indica que na ocorrência de queimadas não há precipitação. O padrão de CAPE (figura 20c) varia entre 0 a 661 J/kg, com média de 199,4 J/kg.

Figura 20. Distribuição de temperatura °C (A), precipitação mm (B) e CAPE J/kg (C) em dos possíveis candidatos de queimadas que ocasionaram desligamento.



Fonte: Autora

4. CONCLUSÃO

O presente estudo analisou a distribuição espaço-temporal de raios e queimadas e também de temperatura, precipitação, CAPE e índices extremos de precipitação ao longo da LT na região do PR, RJ e SP entre 2005 a 2020.

A distribuição espacial de precipitação, temperatura e CAPE apresentou valores médios de 24 °C, 1333,6 mm e 471 J/kg respectivamente, entre o período de 2005 a 2020. Redução no número de dias com precipitação >10 mm e 20 mm foram observados ao longo da LT, enquanto os extremos de chuva (acima do percentil 95%) variaram entre 90 até acima de 900 mm, com 55% dos anos com chuva extrema acima de 300 mm/dia. Por outro lado, o número de dias consecutivos secos não mostram um padrão de aumento ou diminuição ao longo da LT. De modo geral, esses padrões são importantes para direcionar trabalhos futuros em relação aos diferentes cenários de mudanças climáticas.

A distribuição de raios ao longo da LT ocorrem preferencialmente durante o verão e primavera, com maior quantidade de raios observado no estado de SP provavelmente associado a topografia. Por outro lado, a distribuição de queimadas ocorrem durante o inverno e primavera.

O total de casos de desligamento no entorno da LT fornecido pela ANEEL como oriundos de raios e queimadas entre 2013 a 2020, apenas 45% dos raios foram observados pelo sensor e 37% observados pelo satélite como prováveis candidatos ao desligamento por raio e queimadas, respectivamente.

Padrões de temperatura, precipitação e CAPE associado as datas e horários dos desligamentos aos raios, indicaram valores médios de temperatura de 24 °C, ou seja, não diferem do valor climatológico da região no entorno da LT. Por outro lado, valores médios de precipitação foram em torno de 1,43 mm, associado a ocorrência de raios seguido com pouca ou quase nenhuma precipitação, sendo mais propícios a queimadas. A CAPE apresentou valor médio de 1488,17 J/kg, no entanto, os valores correspondentes de CAPE não são altos mas podem ser associados a tempestades.

Em relação aos desligamentos ocasionados por queimadas, padrões de temperatura indicaram valores médios de temperatura de 23,6 °C, ou seja, não diferem do valor climatológico da região no entorno da LT. Por outro lado, valores médios de precipitação foi em torno de 0 mm, CAPE apresentou valor médio de 199,424 J/kg.

Para trabalhos futuros, sugere-se avaliar os resultados encontrados sobre as condições atuais para o clima futuro com base em projecções climáticas de temperatura, precipitação e CAPE ao longo das LTs e incluir outros índices extremos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R.E. **Previsão de raios utilizando técnicas de inteligência computacional e dados de sondagem atmosférica por satélite**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Mapa de transmissão do setor elétrico**, 2021. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/webmap/viewer.html?webmap=3ee2fe1d374a40b483440104857df021>. Acesso em: 02 set. 2021.
- _____. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. 2022. Disponível em: < <https://www.gov.br/aneel/pt-br/aceso-a-informacao/servico-de-informacao-aocidadao/sic/>>. Acesso em:
- APARECIDO, L.E.O.; ROLIM, D.S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P.S.; JOHANN, J.A.; KOPPEN. Classificações climáticas de Köppen, Thornthwaite e Camargo para o zoneamento climático do Estado do Paraná, Brasil, **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, p. 405, 2016.
- BARRETO, A.V. **Vulnerabilidade de linhas de transmissão a desligamentos por descargas atmosféricas: uma proposta de classificação como suporte para o planejamento**. 2016. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Atmosfera Tempo e Clima. Londres- -Routledge,. 512 p, 2013.
- BJERKNES, J. B. Saturated-adiabatic ascent of air through dry-adiabatically descending environment. Quart. J. R. Met. Soc., v. 64, p. 325-330. 1938.
- BRIGIDIA, D. **Correlação entre bancos de dados de focos de calor detectados por satélites do INPE e Desligamentos de linhas de transmissão de energia da Chesf**. 2011. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Recife-PE, 2011.
- CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; DIAS, M.A.F.S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.
- COELHO, C., CARDOSO, D., FIRPO, M., 2015. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. São José dos Campos: Theoretical and Applied Climatology. 2015.
- COTTON, W. R.; ANTHES, R. A. Storm and Cloud dynamics. San Diego, Ca: Academic, p. 883, 1989.
- COPERNICUS. Climate reanalysis, 2021. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis>. Acesso em: 21 set. 2021.

COSTA, T.R.V. **Faixas de Segurança de Linhas de Transmissão e seu Modelo de Desempenho Frente aos Incêndios Florestais**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2021.

COSTA, T.R.V.; VALE, A.T.; LIMA, C.M.; BRASIL, A.C.M. Susceptibility Characteristics of 500 kV Transmission Lines to Forced Outages Caused by Wildfires. **Electric Power Systems Research**, v. 209, 107995, 2022.

DOSWELL, C.; RASMUSSEN, E. The effect of neglecting the virtual temperature correction on CAPE calculations. **Weather and Forecasting**, v. 9, p. 625-629, 1994.

ELAT. **Grupo de Eletrecidade Atmosférica**, 2022. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/relampagos.e.efeitos/sistema.eletrico.php>. Acesso em: 02 set. 2022.

EMANUEL, Kerry A. On assessing local conditional symmetric instability from atmospheric soundings. *Monthly weather review*, v. 111, n. 10, p. 2016-2033, 1983.

FERREIRA, L.B.; CARAMORI, P.H.; MORAIS, H.; NITSCHKE, P.R.; COSTA, A.B.F. O fenômeno El Niño de 2015/16 e seus impactos nas chuvas do Paraná. **Instituto agônomico do Paraná**, 2017.

FONSECA, J. R.; TAN, A.L.; MONASSI, V.; ASSUNCAO, L.A.R.; JUNQUEIRA, W.S.; MELLO, M.O.C. Effects of agricultural fires on the performance of overhead transmission lines. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 5, n. 2, p. 687-694, 1990.

FREIRE, S.; CARRÃO, H.; CAETANO, M.R. **Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares**. Lisboa: Instituto Geográfico Português, 2002.

GISMAPS. **Geoprocessamento e mapeamento para seus Negócios**, 2022. Disponível em: <<https://gismaps.com.br/>>. Acesso em: 22 de fev. 2022.

HEILMANN, A.F.C.; LEITE, E.A.; PINHEIRO, L.C. Características das tempestades com raios no litoral do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, n. 0, 2018.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRIDFORD, P.; HIRAHARA, S.; HORÁNYI, A.; SABATER, J.M.; NICOLAS, J.; PEUBEY, C.; RADY, R.; SCHEPERS, D.; SIMMONS, A.; SOCI, C.; ABDALLA, S.; ABELLAN, X. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados de Queimadas - Programa Queimadas-perguntas frequentes**. 2022. São José dos Campos-SP. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 18 de ago. 2022.

_____. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados de Queimadas**. 2021. São José dos Campos-SP. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 31 de ago. 2022.

KRAUSE, A.; KLOSTER, S.; WILKENSJELD, S.; PAETH, H. The sensitivity of global wildfires to simulated past, present, and future lightning frequency. **JGR Biogeosciences**, v. 119, p. 312-322, 2014.

LI, Y.; MICKLEY, L.; LIU, P.; KAPLAN, J. Trends and spatial shifts in lightning fires and smoke concentrations in response to 21st century climate over the forests of the Western United States. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 20, p. 8827-8838, 2020.

MANGUEIRA, R.S. **Queimadas na Amazônia 2020**: um estudo sobre as causas e consequências em longo prazo. 2021. Monografia (Especialista em Ensino de Ciências e Matemática) - Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Itaporanga, 2021.

MATTOS, E.V.; MACHADO, L.A.T.; WILLIAMS, E.R.; GOODMAN, S.J.; BLAKESLEE, R.J.; BAILEY, J.C. Electrification life cycle of incipient thunderstorms. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 122, p. 4670-4697, 2017.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise Hídrica em São Paulo em 2014: Seca e Desmatamento. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 19, p. 485-494, 2015.

MARIANI, M.; HOLZ, A.; VELEN, T.T.; WILLIAMSON, G.; FLETCHER, M.S.; BOWMAN, D.M.J.S. Climate change amplifications of climate-fire teleconnections in the southern hemisphere. **Geophysical Research Letters**, v. 45, p. 5071-5081, 2018.

MARRAFON, V. H.; Reboita, M. S. Características da precipitação na América do Sul reveladas através de índices climáticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 663-676, 2020.

MECIKALSKI, R.M.; BAIN, A.L.; CAREY, L.D. Radar and lightning observations of deep moist convection across Northern Alabama during DC3: 21 May 2012. **Monthly Weather Review**, v. 143, p. 2774-2794, 2015.

McPHADEN, M. J. **Playing hide and seek with El Niño**. v. 5, n. 9, p.791-795, 2015

MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G.C.; BARBOSA, E.M.; JÚNIOR, J.C.F.M. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 338-344, 2007.

MOTA, M.A.S. Convecção na Amazônia: variabilidade, efeitos e resposta na circulação de grande escala. 2007. 194 p. IBI: . (INPE-15212-TDI/1308) . Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007. Disponível em: <http://urlib.net/6qtX3pFwXQZ3P8SECKy/DjRts>.

NACCARATO, K.P.; SANTOS, W.A.; CARRETERO, M. A.; MOURA, C.; TIKAMI, A. Total lightning flash detection from space: a CubeSat approach. *In*: INTERNATIONAL LIGHTNING DETECTION CONFERENCE, 24.; INTERNATIONAL LIGHTNING METEOROLOGY CONFERENCE, 6.; 2016, San Diego, California, USA.

NACCARATO, K.P.; PINTO Jr., O.; SLOOP, C.D.; HECKMAN, S.; LIU, C. Evaluation of brasildat relative detection efficiency based on lis observations and a numeric model. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PROTECTION, ICLP, 2014, Shanghai, China, p. 1814-1819, 2014.

NACCARATO, K.P.; SANTOS, A.P.P.; LIMA, F.J.L. Incidence of lightning strikes to power transmission lines in the south of Brazil: current and future climate. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PROTECTION, 36., p. 312-314, 2022, Cape Town, South Africa.

ONS. **Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2022.** Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

_____. **Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2022.** Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 20 ago. 2022.

_____. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Resultados da operação, 2022.** Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento-paineis.aspx>. Acesso em: 22 ago. 2022.

PINTO JR, O. A arte da guerra contra os raios. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2005.

PINTO JR., O.; PINTO, I.R.C.A. BrasilDAT dataset: combining data from different Lightning locating systems to obtain more precise lightning Information. *In*: INTERNATIONAL LIGHTNING DETECTION CONFERENCE, 25.; INTERNATIONAL LIGHTNING METEOROLOGY CONFERENCE, 7., Fort Lauderdale, Florida, USA, 2018.

PINTO JR., O. An overview of cloud-to-ground lightning research in Brazil in the last two decades. *In*: INTERNATIONAL LIGHTNING DETECTION CONFERENCE, 20.; INTERNATIONAL LIGHTNING METEOROLOGY CONFERENCE, 2., Tucson, Arizona, USA, 2008.

PU, Z.H.; RUAN, J.J.; HUANG, D.C.; WU, T.; LI, P. Study on the breakdown characteristics of the transmission line gap under forest fire conditions. **International Transactions on Electrical Energy Systems.**, v. 25, n. 11, p. 2731-2744, 2014.

RAMOS-NETO, M.B.; PIVELLO, V.R. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. **Environmental Management.**, v. 26, n. 6, p. 675-684, 2000.

REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

RINDAT. **Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas**. 2021. Disponível em: <<http://www.rindat.com.br/>>. Acesso em: 02 set. 2022.

SANTOS, AP.P. Eventos extremos de descargas atmosféricas no estado de são paulo: casos observados e cenários futuros.2017. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP, 2017.

SANTOS, AP.P.; PINTO JR., O.; SOUZA, E.B.; AZAMBUJA, R.; LIMA, F.J.L.; SANTOS, S.R.Q. Eventos climáticos extremos de descargas atmosféricas sobre o Estado de São Paulo. Parte I: aspectos anuais e sazonais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 5, p. 1346-1356, 2016.

SANTOS, B. A.; OLIVEIRA, M.D.S., SILVA, P.N., SANTOS, J.G.M., MATTOS, E.V., REBOITA, M.S. Distribuição Espaço-Temporal dos Focos de Calor no Estado de Minas Gerais. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 42, pg. p. 64-84, 2021.

SANTOS, R.J.; ARSEGO, D.A.; CAMPOS, A.M.V. **Climatologia estatística do vale do Paraíba**. Relatório final de projeto de iniciação científica, INPE, 2019.

SCHMIDT, W. **Materiais elétricos: isolantes e magnéticos**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2019.

SHUMACHER, V.; SETZER, A.; SABA, M.M.F.; NACCARATO, K.P.; MATTOS, M., JUSTINO, F. Characteristics of lightning-caused wildfires in central Brazil in relation to cloud-ground and dry lightning. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 312, 108723, 2022.

SINGH. M.S.; KUANG, Z.; MALONEY, E.D.; HANNAH, W.M.; WOLDING, B.O. Increasing potential for intense tropical and subtropical thunderstorms under global warming. **Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences** v. 114, n. 44, p. 11657-11662, 2017.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo. **Ebook**, Curitiba, p. 264, 2007.

SOUSA, W.M.; COSTA, C.A.B.; PEREIRA JUNIOR, I.H.; PEREIRA FILHO, C.S. Sistema de localização automática de faltas em linhas de transmissão utilizando dados de dois terminais: experiência da Cemig. *In: **SNPTEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA***, 18., 2005, Curitiba-PR.

SOUTO, C.A.; FREITAS. A.C.V.; MARTINS, G. Influência das condições meteorológicas atuais e futuras na ocorrência de queimadas e incêndios florestais no

estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 2755-2770, 2021.

SORIANO, B.M.A.; CARDOSO, E.L.; TOMÁS, W.M.; SANTOS, S.A.; CDISPIM, S.M.A.; PELLEGRIN, L.A. Uso do fogo para o manejo da vegetação no Pantanal. Corumbá, Embrapa Pantanal, 18p., 2020.

TORRES, F.T.P.; RIBEIRO, G.A.; MARTINS, S.V.; LIMA, G.S. Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 297-303, 2010.

VERDAN, I., SILVA, M.E.E. Variabilidade da Zona d Convergênci do Atlântico Sul em relação a eventos ENOS de 2000 a 2021. **Revista do departamento de geografia**, v. 42, 2022.

VISACRO, S. Direct Strokes to Transmission Lines: Considerations on the Mechanisms of Overvoltage Formation and their Influence on the Lightning Performance of Lines. **Journal of Lightning Research**, v. 1, p. 60-68, 2007.

YUE, Y.; ZOU, Y.; HUANG, F.; GONG, Z.; WANG, C. Study on the flashover characteristics of $\pm 500\text{kV}$ DC transmission lines caused by forest fire under reduced-voltage operation. *In: EPTC Power Transmission and Transformation Technology Conference*, 2017.

ZHANG, X.; YANG, F. **RclimDex (1.0) user manual**. Climate Research Branch Environment. Onatario, Canada, 22p., 2004.