

LUÍSA MORAIS AZEVEDO

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA QUALIDADE DA
PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

São Luís (MA), 05 de junho de 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E AMBIENTE

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA QUALIDADE DA
PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

por

Luísa Morais Azevedo

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), como requisito para obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente.

Orientador: Shigeaki Leite de Lima, Dr.

São Luís (MA), 24 de junho de 2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Azevedo, Luísa Morais.

Avaliação dos Impactos das Variáveis Ambientais Na
Qualidade da Prestação do Serviço de Distribuição de
Energia Elétrica No Brasil / Luísa Morais Azevedo. - 2024.
128 f.

Orientador(a): Shigeaki Leite de Lima.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Energia e Ambiente/ccet, Universidade Federal do Maranhão,
São Luís, Maranhão, 2024.

1. Mudanças Climáticas. 2. Ambiente. 3. Qualidade.
4. Energia. 5. Distribuição. I. Lima, Shigeaki Leite
de. II. Título.

LUÍSA MORAIS AZEVEDO

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA QUALIDADE DA
PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), como requisito para obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente.

Aprovado em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Shigeaki Leite de Lima
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof. Dr. Jaiver Efren Jaimes Figueroa
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof. Dr. Mauro Sergio Silva Pinto
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais por sempre terem me incentivado na busca pelo melhor de mim, ainda que o caminho seja desafiador e tortuoso, servindo de base e inspiração de que o esforço poderá e deverá ser recompensado.

À minha irmã, Livia, agradeço por sempre ter estado disposta a me ouvir, a entender as minhas dificuldades, sem julgar as minhas falhas. Sem essa escuta fraternal jamais seria possível prosseguir.

Ao meu esposo, Sérgio Augusto, agradeço imensamente por me escutar e me compreender, mesmo nos momentos de mais angústia. Sérgio foi fundamental, não só enquanto apoio psicológico, mas também por todo o seu suporte técnico, discutindo e dando sugestões essenciais para desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço às minhas amigas, que sempre estiveram dispostas a melhorar meu humor, em especial à Andressa, companheira de vida acadêmica, que sempre agiu com empatia diante dos obstáculos que se puseram nessa jornada.

Agradeço aos meus colegas de trabalho, que me auxiliaram com visões importantes sobre o tema, e que contribuíram, ainda que indiretamente, na elaboração desse material.

Agradeço ainda às minhas amigas do Programa de Mestrado, Aline e Narana, que estiveram presentes em todo esse percurso e percalços, sendo grandes incentivadoras e parceiras.

Finalmente, agradeço ao meu orientador, Shigeaki Leite de Lima, Dr., que não fechou as portas para meu avanço, ainda que diante das dificuldades apresentadas. Por isso, sou grata!

RESUMO

As mudanças climáticas têm sido cada vez mais perceptíveis por meio dos eventos climáticos extremos experimentados nos últimos anos em todo o mundo. No Brasil, esse cenário não é diferente, tendo registrado um incremento da temperatura média no período de 1850 a 2019 a média de 1,52 ° C. Como consequência dessas alterações se registram eventos climáticos cada vez mais relevantes e mais frequentes, a exemplo dos ocorridos no segundo semestre de 2023 em São Paulo e no Rio Grande do Sul. Isso posto, busca-se avaliar os impactos desses eventos nos setores de infraestrutura críticos, em particular, na distribuição de energia elétrica. Para tanto, optou-se por calcular e avaliar os coeficientes de correlação entre variáveis climáticas relacionadas a temperatura, precipitação pluviométrica e velocidade de rajadas de ventos com os indicadores operacionais de qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica, considerando o total e os valores após expurgos previstos na regulamentação. O período avaliado compreendeu os anos de 2013, 2018 e 2023, considerando cerca de 3 mil conjuntos elétricos conforme configurações geoespaciais de 31 de dezembro de 2020. Para tratamento dos dados foram utilizados métodos de interpolação, análise exploratória e retirada de *outliers*. Por último, foi realizada a etapa de análise estatística inferencial, na qual foram obtidos os coeficientes amostrais de correlação de Pearson e de Spearman, além da avaliação do teste de significância. Com os resultados obtidos observou-se a partir do teste de significância que é possível inferir os coeficientes populacionais a partir da amostra observada. Da análise qualitativa dos coeficientes de correlação obtidos, foi concluído que o indicador total de duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC total) é o mais afetado pelas condições climáticas, principalmente relativas a precipitação, temperatura média e rajada de vento máxima, tendo apresentado correlação moderada. Outra conclusão é de que, dados os coeficientes de correlação para variáveis totais e coletivas, sendo menores para as últimas, os expurgos previstos na regulamentação vigente estão razoavelmente aderentes ao seu propósito. Por fim, com os resultados alcançados, é esperado embasar as distribuidoras de energia em busca de patamares para melhor alocação e despacho de equipes, com vistas a redução da duração das interrupções diante de situações climáticas adversas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, Ambiente, Qualidade, Energia, Distribuição.

ABSTRACT

Climate change has been increasingly noticeable through the extreme weather events experienced in recent years around the world. This scenario is no different in Brazil, which registered an increase in the average temperature of 1,52 ° C between the years of 1850 and 2019. As a consequence of these changes increasingly relevant and more frequent climate events are being recorded, such as those that occurred in the second half of 2023 in São Paulo and Rio Grande do Sul. That said, it's substantial to evaluate the impacts of these events in the critical infrastructure sectors, in particular, in the energy distribution. Therefore, the calculation of correlation coefficients was chosen to demonstrate the impact of the climate variables, related to temperature, rainfall and wind speed, on the operational energy distribution quality indicators, considering the total and the values after purges provided for in the regulations. The years 2013, 2018 e 2023 were evaluated, encompassing around 3 thousand electrical sets according to geospatial configurations on December 31, 2020. Interpolation methods, exploratory analysis and removal of outliers were used to process the data. Lastly, the inferential statistical analysis was performed, in which the Pearson and Spearman correlation coefficients were obtained, and the significance test. From the results, it was observed a adequate level of significance, in other words, it is possible to infer the population coefficients from the observed sample. From the qualitative analysis of the correlation coefficients, the indicator of the total Equivalent Duration of Interruption per Consumer (total DEC) is the most affected by climatic conditions, mainly related to precipitation, average temperature and maximum wind gust, having presented a moderate correlation. Another conclusion is that, given the correlation coefficients for total and collective continuity indicators, being lower for the latter, the purges provided for in current regulations are reasonably in line with their purpose. Finally, with the results achieved, it is expected to support energy distributors in the search for triggers of climatic variables for better allocation and dispatch of teams, with the aim of reducing the duration of interruptions in adverse weather situations.

Keywords: Climate changes, Environment, Quality, Energy, Distribution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mudança de temperatura global de 1850 a 2018.	17
Figura 2: Temperatura média no Brasil de 1890 a 2019.....	18
Figura 3: Impactos das mudanças climáticas e danos e perdas relacionados ao clima	19
Figura 4: Temporal causa danos em Lajeado e outras cidades no Rio Grande do Sul.	27
Figura 5: Temporal causa danos em Santa Maria e outras cidades no Rio Grande do Sul.	27
Figura 6: Imagem aérea de Montenegro, no RS, após ser atingida por ciclone extratropical.	27
Figura 7: Famílias são resgatadas em área alagada de Eldorado do Sul.	27
Figura 8: Ruas alagadas em 2024 em Porto Alegre.	27
Figura 9: Município de Travesseiro - RS isolado após enchentes de 2024.	27
Figura 10: DEC Global Brasil com Expurgos Móvel 12 meses.	29
Figura 11: FEC Global Brasil com Expurgos Móvel 12 meses.....	29
Figura 12: Distribuição das estações meteorológicas e pluviômetros do INMET	49
Figura 13: Diagramas de dispersão para pares de variáveis climáticas.....	54
Figura 14: Fluxograma das etapas metodológicas do trabalho.....	61
Figura 15: Mapa estações meteorológicas <i>versus</i> conjuntos elétricos.	66
Figura 16: Tela interpolação IDW no QGIS.	67
Figura 17: Interpolação da precipitação total de 2018.....	68
Figura 18: Interpolação da temperatura média de 2013.	69
Figura 19: Feições dos conjuntos elétricos na referência 31/12/2020.	72
Figura 20: Estrutura dos dados de continuidade.....	74
Figura 21: Diagrama de dispersão ID 01 x DEC Coletivo 2013 da COPEL_DIS.	78
Figura 22: Diagrama de dispersão ID 01 x DEC Total 2013 da COPEL_DIS.	78
Figura 23: Diagrama de dispersão ID 01 x FEC Coletivo 2013 da COPEL_DIS.....	79
Figura 24: Diagrama de dispersão ID 01 x FEC Total 2013 da COPEL_DIS.....	79
Figura 25: Diagrama de dispersão ID 02 x DEC Coletivo 2013 da ELEKTRO.....	79
Figura 26: Diagrama de dispersão ID 02 x DEC Total 2013 da ELEKTRO.....	79
Figura 27: Diagrama de dispersão ID 02 x FEC Coletivo 2013 da ELEKTRO.	79
Figura 28: Diagrama de dispersão ID 02 x FEC Total 2013 da ELEKTRO.	79
Figura 29: Diagrama de dispersão ID 03 x DEC Coletivo 2013 da Enel CE.	80
Figura 30: Diagrama de dispersão ID 03 x DEC Total 2013 da Enel CE.	80
Figura 31: Diagrama de dispersão ID 03 x FEC Coletivo 2013 da Enel CE.....	80
Figura 32: Diagrama de dispersão ID 03 x FEC Total 2013 da Enel CE.....	80
Figura 33: Diagrama de dispersão ID 04 x DEC Coletivo 2013 da Equatorial Pará.	80
Figura 34: Diagrama de dispersão ID 04 x DEC Total 2013 da Equatorial Pará.	80
Figura 35: Diagrama de dispersão ID 04 x FEC Coletivo 2013 da Equatorial Pará.....	81
Figura 36: Diagrama de dispersão ID 04 x FEC Total 2013 da Equatorial Pará.	81
Figura 37: Diagrama de dispersão ID 05 x DEC Coletivo 2013 da CEB_DIS.	81
Figura 38: Diagrama de dispersão ID 05 x DEC Total 2013 da CEB_DIS.....	81
Figura 39: Diagrama de dispersão ID 05 x FEC Coletivo 2013 da CEB_DIS.	81
Figura 40: Diagrama de dispersão ID 05 x DEC Total 2013 da CEB_DIS.....	81
Figura 41: Diagrama de dispersão ID 06 x DEC Coletivo 2013 da CELESC.	82
Figura 42: Diagrama de dispersão ID 06 x DEC Total 2013 da CELESC.	82
Figura 43: Diagrama de dispersão ID 06 x FEC Coletivo 2013 da CELESC.	82

Figura 44: Diagrama de dispersão ID 06 x DEC Total 2013 da CELESC.	82
Figura 45: Diagrama de dispersão ID 07 x DEC Coletivo 2013 da CPFL Santa Cruz.	82
Figura 46: Diagrama de dispersão ID 07 x DEC Total 2013 da CPFL Santa Cruz.	82
Figura 47: Diagrama de dispersão ID 07 x FEC Coletivo 2013 da CPFL Santa Cruz.	83
Figura 48: Diagrama de dispersão ID 07 x DEC Total 2013 da CPFL Santa Cruz.	83
Figura 49: Diagrama de dispersão ID 08 x DEC Coletivo 2013 da AME.	83
Figura 50: Diagrama de dispersão ID 08 x DEC Total 2013 da AME.	83
Figura 51: Diagrama de dispersão ID 08 x FEC Coletivo 2013 da AME.	83
Figura 52: Diagrama de dispersão ID 08 x DEC Total 2013 da AME.	83
Figura 53: Diagrama de dispersão ID 09 x DEC Coletivo 2013 da CELPE.	84
Figura 54: Diagrama de dispersão ID 09 x DEC Total 2013 da CELPE.	84
Figura 55: Diagrama de dispersão ID 09 x FEC Coletivo 2013 da CELPE.	84
Figura 56: Diagrama de dispersão ID 09 x DEC Total 2013 da CELPE.	84
Figura 57: <i>Boxplots</i> para identificação de <i>outliers</i> das variáveis em 2013.	85
Figura 58: <i>Boxplots</i> para identificação de <i>outliers</i> das variáveis em 2018.	87
Figura 59: <i>Boxplots</i> para identificação de <i>outliers</i> das variáveis em 2023.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões coletivos anuais de continuidade.....	36
Tabela 2: Estratificação das interrupções de longa duração.....	47
Tabela 3: Tipos de interpoladores.....	50
Tabela 4: Dados meteorológicos INMET.....	62
Tabela 5: Conversão de dados meteorológicos diários para mensais.....	63
Tabela 6: Demais variáveis meteorológicas.....	64
Tabela 7: Variáveis climáticas e índices.....	73
Tabela 8: Matriz de correlação climática x operacional.....	76
Tabela 9: Matriz de correlação de Pearson e de Spearman.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ABRATE	Associação Brasileira das Empresas de Transmissão de Energia Elétrica
AED	Análise Exploratória de Dados
AME	Amazonas Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEB_DIS	Companhia Energética de Brasília
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CELPE	Companhia de Eletricidade de Pernambuco
CEMADEN	Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CHI	Consumidor hora interrompido
COP	Conferências das Partes
COPEL_DIS	Companhia Paranaense de Energia
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DEC	Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora
DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DICRI	Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão
DMIC	Duração Máxima de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
ERAC	Esquema de Alívio de Carga
FEC	Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora
FIC	Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
GEE	Gases de efeito estufa
IDW	Inverso ponderado da distância (em inglês, Inverse Distance Weighting)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (em inglês, Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISE	Interrupções em situação de emergência
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONS	Operador Nacional do Sistema
ONU	Organização das Nações Unidas
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
SDAT	Sistemas de distribuição de alta tensão
SDMT	Sistemas de distribuição de média tensão
SE AT/MT	Subestações de transformação de alta tensão em média tensão
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SED	Subestação de distribuição
SFT/ANEEL	Superintendência de Fiscalização Técnica dos Serviços de Energia Elétrica
SIGEL	Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico
SRD/ANEEL	Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição

STD/ANEEL

Superintendência de Regulação dos Serviços de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

r	Coeficiente de correlação amostral de Pearson
r_s	Coeficiente de correlação de Spearman
ρ	Coeficiente de correlação populacional de Pearson
COV	Covariância
σ	Desvio padrão
ρ	Fator peso IDW
λ	Peso de Krigagem
Σ	Somatório

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	16
1.2 SOLUÇÃO PROPOSTA.....	24
1.3 JUSTIFICATIVA	24
1.4 OBJETIVOS.....	32
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	33
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	34
2.1 A QUALIDADE DO SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL 34	
2.2 INDICADORES DE CONTINUIDADE DO FORNECIMENTO.....	43
2.3 MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO.....	48
2.4 MÉTODOS DE ANÁLISE DE CORRELAÇÃO.....	53
3 METODOLOGIA.....	60
3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA	60
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	61
3.2.1 Levantamento de dados.....	62
3.2.2 Análise exploratória dos dados	75
3.2.3 Análise inferencial estatística dos dados	75
4 RESULTADOS.....	78
4.1 RESULTADOS DA ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS	78
4.2 RESULTADOS DA ANÁLISE INFERENCIAL ESTATÍSTICA	92
5 CONCLUSÕES	101
6 Anexos	103
6.1 GRÁFICOS DE DISPERSÃO 2013	103
6.2 GRÁFICOS DE DISPERSÃO 2018	109
6.3 GRÁFICOS DE DISPERSÃO 2023	115
REFERÊNCIAS.....	121

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um recurso fundamental para o desenvolvimento econômico e social e, por isso, a continuidade do fornecimento é um fator relevante e fortemente regulado e fiscalizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no Brasil. Esta qualidade da prestação dos serviços de fornecimento de energia elétrica depende de diversos fatores exógenos e endógenos aos sistemas de geração, transmissão e distribuição, os quais parcialmente constam nos modelos regulatórios para determinação dos patamares aceitáveis de continuidade.

Dentre as variáveis exógenas podem ser elencadas aquelas relacionadas às características ambientais das concessões, as quais, estima-se, sofrem intensa influência das mudanças climáticas verificadas e experimentadas mais severamente nos últimos anos. Isso posto, o presente trabalho pretende correlacionar os indicadores associados à continuidade de fornecimento do segmento de distribuição de energia elétrica no Brasil a uma seleção de indicadores ambientais, sejam presentes nos modelos regulatórios vigentes, ou não.

A regulamentação brasileira sobre o tema “continuidade do fornecimento de energia elétrica” foi inaugurada com a publicação da Portaria DNAEE nº 1978, de 17 de abril de 1978 (DNAEE, 1978), sendo duas décadas depois instituída a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) por meio da Lei nº 9,427, de 26 de dezembro de 1996 (BRASIL, 1996), desdobrando, a partir dessa publicação, os regramentos que serão apresentados e discutidos ao longo desse texto.

Dentre os regulamentos que marcaram a continuidade do fornecimento, podem ser citados a Resolução ANEEL nº 024/2000 (ANEEL, 2000), que foi responsável por adequar a regulação da continuidade ao novo contexto institucional do setor elétrico nacional, a Resolução Normativa ANEEL nº 345/2008 (ANEEL, 2008), que aprimorou e consolidou as disposições regulatórias de continuidade nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) (ANEEL, 2021) (DE MENDONÇA et al., 2022), e a Resolução Normativa ANEEL nº 641/2014 (ANEEL, 2014), que apresenta a versão mais recente da metodologia de definição dos limites dos indicadores de continuidade atualmente, utilizados para mensurar a qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica no Brasil (ANEEL, 2021a).

Paralelo à evolução regulatória da continuidade do serviço de distribuição, foram observadas as mudanças climáticas que têm afetado o Brasil e o mundo. Para além da variabilidade natural do clima, verifica-se em estudos compilados pela equipe do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (em inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC) que a adição de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre tem intensificado tais variações (COSTA et al., 2020).

A maior afetação do clima, especialmente relacionada aos extremos climáticos, como ondas de calor, precipitação extrema e inundações, já é considerada um risco de moderado a alto de acordo com o Quinto Relatório Científico do IPCC (SILVA, 2017). Com base no risco apresentado e na necessidade de tornar tais percepções mais objetivas, a Organização Meteorológica Mundial (OMM), por meio de um grupo de trabalho, propôs índices para detecção das mudanças climáticas, os também conhecidos por “índices de extremos climáticos”, sendo 11 referentes às precipitações e 16 relativos à temperatura (SILVA, 2017).

Conforme Resolução Normativa ANEEL nº 641/2014 (ANEEL, 2014), publicada após amplo processo de discussão setorial, variáveis relacionadas ao clima/ambiente compõem o modelo utilizado para determinação dos limites aceitáveis dos indicadores que traduzem a continuidade do fornecimento de energia elétrica. Contudo, além de utilizar bases datadas de períodos anteriores à publicação desse regulamento, foi observado que não constam no rol de variáveis explicativas dos “indicadores de continuidade” aquelas associadas aos eventos extremos, reflexos importantes das mudanças climáticas.

Essa temática de necessidade de aprimoramento da regulação vigente vem sendo discutida nos últimos anos, a exemplo dos projetos de Pesquisa e Desenvolvimento da CELESC (“Definição de conjuntos de unidades consumidoras eficientes sob os enfoques dos consumidores, das empresas e do regulador”) e da Tomada de Subsídios ANEEL nº 022/2021 (ANEEL, 2021).

Finalmente, além das discussões relacionadas a tais variáveis endógenas e os efeitos da ausência ou presença nos modelos para determinação dos limites regulatórios de continuidade do serviço de distribuição de energia elétrica, os eventos extremos experimentados no Brasil, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, em 2023, endossaram a necessidade de conhecer e

mensurar tais impactos, com a análise não só da flexibilização de tais limites, mas também da necessidade de ajustes operacionais e regulatórios para incentivo às distribuidoras de energia elétrica brasileiras a se adequarem ao novo cenário climático que vem se apresentando. Tais discussões começaram a ser estruturadas para discussão pública na Tomada de Subsídios nº 02/2024 (ANEEL, 2024).

Nesse contexto, esta dissertação contribui com as discussões em andamento, buscando avaliar a correlação entre um conjunto de variáveis climáticas selecionadas a eventos extremos de precipitação, ventanias e temperatura e a apuração de indicadores de continuidade conforme formulação vigente. Para tanto, o trabalho pretende além de levantar as bases de dados necessárias, calcular e avaliar os coeficientes de correlação.

Por fim, as constatações obtidas por meio deste estudo, servirão de base para a sensibilização sobre a necessidade de inclusão de determinadas variáveis ambientais nos modelos regulatórios que auxiliam na definição dos patamares de continuidade a serem praticados pelas distribuidoras de energia elétrica no Brasil e para auxiliar na definição de incentivos regulatórios para adequação operacional das distribuidoras de energia a estes eventos extremos, além de auxiliar na verificação da eficácia do processo de expurgo de cenários atípicos dos indicadores de continuidade.

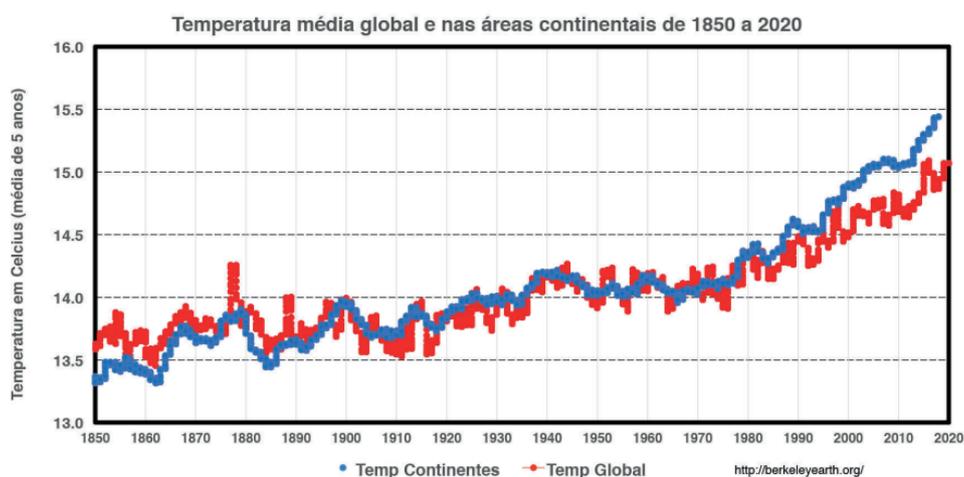
1.1 Definição do problema

A partir da década de 1970 as mudanças climáticas passaram a despontar nas agendas nacionais e internacionais como importante pauta a ser discutida, tendo como marco a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, em Estocolmo (Suécia) (BARBADO et al., 2021). Desde então são discutidos a nível mundial os impactos ao meio ambiente com o objetivo de mitigação e adaptação. Assim, no início dos anos 1990 foi firmada a Convenção-Quadro da Organização das Nações Unidas (ONU) e, a partir de então, ocorreram mais de 25 Conferências das Partes (COP), com importantes compromissos firmados pelas nações participantes, com destaque para aqueles presentes no Protocolo de Kyoto e, posteriormente, no Acordo de Paris (BARBADO et al., 2021).

As mudanças climáticas compreendem o fenômeno natural dado por alterações no sistema climático que são intensificadas pelas atividades humanas. Estas atividades, normalmente relacionadas ao desenvolvimento econômico das nações, podem acarretar modificações na atmosfera global que extrapolam os parâmetros de variação natural do clima (TEIXEIRA et al., 2020). Essas mudanças têm por consequência o aumento do nível do mar, modificações na temperatura do ar e da precipitação pluviométrica, propiciando, portanto, condições para a ocorrência de eventos climáticos cada vez mais severos e frequentes (TEIXEIRA et al., 2020).

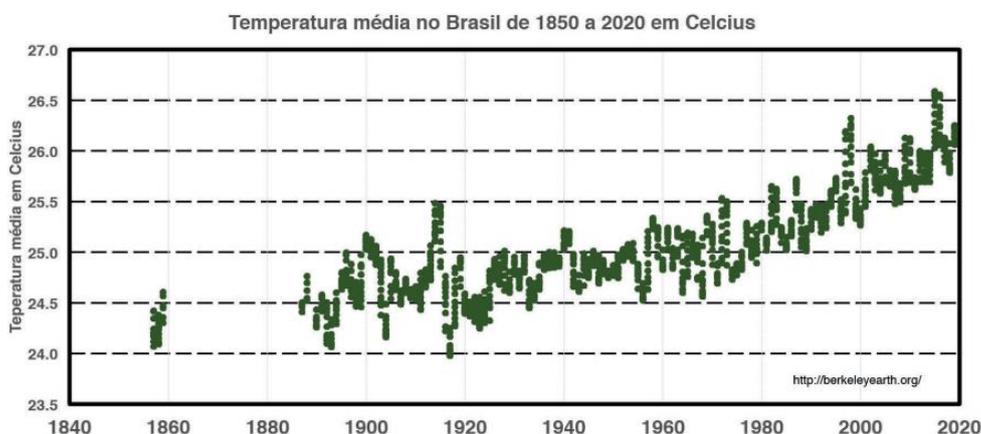
De ordem prática, foi verificado o aumento médio de temperatura em áreas continentais, que já ultrapassa 1,5 °C, com aumento médio global de temperatura (continental e oceânica) de 1,1 °C (ARTAXO, 2020). No Brasil, não diferente, foi verificado o incremento da temperatura média no período de 1850 a 2019 (Figura 1 e Figura 2).

Figura 1: Mudança de temperatura global de 1850 a 2018.



Fonte: Artaxo (2020).

Figura 2: Temperatura média no Brasil de 1890 a 2019.



Fonte: Artaxo (2020).

Conforme calculado pelo *Berkeley Earth Group*, o aumento da temperatura média brasileira foi ainda mais relevante, sendo o incremento de 1,52 °C (ARTAXO, 2020).

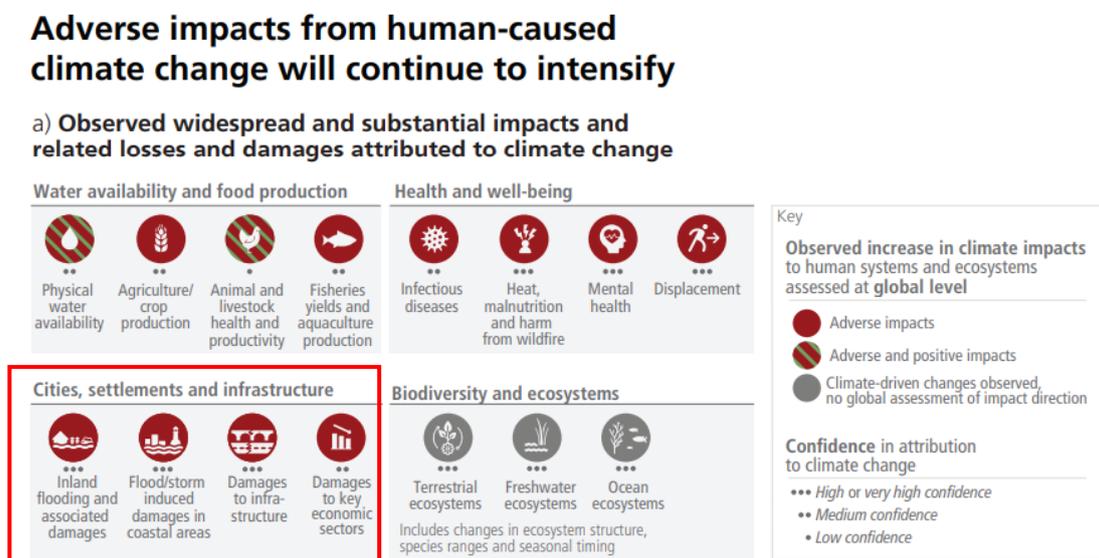
A extensão dos impactos destas mudanças a nível global é indiscutível, conforme ratificado no relatório de 2023 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) que relata que aproximadamente 3,6 bilhões de pessoas vivem em um contexto de elevada vulnerabilidade às mudanças climáticas, concentradas principalmente em áreas subdesenvolvidas. Assim, o aumento da temperatura e eventos climáticos extensos entre 2010 e 2020, ocasionaram o aditamento da mortalidade por enchentes, secas e tempestades, principalmente nas regiões de alta vulnerabilidade (IPCC, 2023).

No que se refere à infraestrutura, em especial ao observar as áreas urbanas, notam-se impactos relevantes das mudanças climáticas em setores primordiais como transportes e fornecimento de água e energia (IPCC, 2023). A Figura 3 extraída do relatório de 2023 do IPCC ilustra os efeitos adversos e fortemente relacionados das alterações do clima nas cidades e sua infraestrutura.

Assim, apesar dos impactos de eventos extremos decorrentes das mudanças climáticas atingirem mais intensamente populações em áreas vulneráveis, a sociedade, principalmente urbana, é acometida como um todo, dados os danos causados a exemplo dos prejuízos à

infraestrutura coletiva, como estradas, aeroportos e redes de distribuição de energia elétrica (TEIXEIRA et al., 2020).

Figura 3: Impactos das mudanças climáticas e danos e perdas relacionados ao clima



Fonte: IPCC (2023).

As projeções climáticas para as próximas décadas tampouco apontam para cenários mais amenos. Para o Brasil, as mudanças climáticas projetam agravamento da intensidade e frequência das ameaças hidrometeorológicas (BUSTAMANTE, 2022). Estudos indicam o aumento da temperatura e redução expressiva das precipitações na região nordeste do Brasil (COSTA et al., 2022). O aumento do clima árido no nordeste também é projetado em MARCOS et al. (2018), além do aumento de áreas semiáridas no norte e centro oeste, ao passo que sudeste e sul projetam mais áreas de clima úmido que as atuais.

No Brasil, os desastres naturais estão fortemente relacionados a fatores climáticos, tendo sido criado após 2011 o Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) quando ocorreu o maior desastre natural brasileiro até então, as enxurradas e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro que resultaram em mais de 900 mortes além de milhares de pessoas desabrigadas (BUSTAMANTE, 2022).

O monitoramento de ameaças naturais em áreas de risco realizado pela CEMADEN, com um total de cerca de 16 mil alertas de risco emitidos até 31 de dezembro de 2020 demonstra a

dimensão do problema enfrentado (BUSTAMANTE, 2022). Ainda de acordo com o CEMADEN (2016), as principais ameaças naturais no Brasil são associadas ao movimento de massa (deslizamentos de terra), enxurradas, inundações, tornados, trombas d'água e seca.

No cenário brasileiro recente é possível citar diversos exemplos de eventos climáticos extremos e seus desdobramentos. Alguns eventos recentes são o aumento das queimadas no estado de São Paulo, que em 2020 foram responsáveis por mais de 100 desligamentos de linhas de transmissão, além do aumento de 46% das queimadas entre janeiro e setembro de 2021 em relação ao mesmo período de 2020 (2.456 ocorrências de acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE) (BUSTAMANTE, 2022). Outro exemplo cujos efeitos foram sentidos direta e indiretamente em todo o país foi a extrema seca vivenciada em 2021, a maior em 91 anos com consequências na geração de energia elétrica e aumento de tarifas (ANEEL, 2021a).

Relativo às chuvas e ventanias e as repercussões, podem ser citadas as fortes chuvas do final de 2021 e início de 2022 que atingiram principalmente os estados da Bahia e Minas Gerais (BUSTAMANTE, 2022), além dos ainda mais recentes eventos extremos decorrentes de fortes chuvas em 2023 e 2024 no Rio Grande do Sul e São Paulo.

Decorrentes desses últimos, intensificaram-se as discussões sobre o tema, no sentido de compreender o efeito desses eventos e as medidas para melhorar a forma de “antecipar eventos climáticos críticos, a atuação dos agentes do setor elétrico nessas situações atípicas e o protocolo de coordenação e comunicação com todas as instituições que podem auxiliar no processo de prevenção e restabelecimento” (EVENTOS, 2024).

No caso dos eventos de São Paulo em 2023, as intensas chuvas de novembro deste ano ocasionaram a interrupção do fornecimento de mais de 4 milhões de unidades consumidoras em 23 municípios do estado (CHUVAS, 2023b).

As chuvas ocasionaram a queda de centenas de árvores sobre as redes de distribuição, o alagamento de vias, interdição de áreas dentre outros impactos (CHUVAS, 2023b).

A distribuição de energia elétrica pode ser classificada como um dos setores de infraestrutura críticos, uma vez que as redes e equipamentos, bem como o serviço prestado, são

considerados vitais para o desenvolvimento do país e manutenção da segurança econômica e nacional e do bem-estar de sua população (BUSTAMANTE, 2022).

A estratégia nacional de segurança de infraestruturas críticas foi aprovada no Decreto nº 10.569 de 9 de dezembro de 2020 (BRASIL, 2020), que enfatiza o papel estratégico e crítico das infraestruturas relacionadas à energia. Ainda de acordo com este Decreto, foram denominados e instituídos os Grupos Técnicos de Segurança de Infraestruturas Críticas cujas atribuições são: continuamente identificar e classificar infraestruturas críticas, identificar ameaças e vulnerabilidades e propor medidas de controle para redução de riscos.

A incidência cada vez mais frequente de eventos climáticos no Brasil expõe a vulnerabilidade destas infraestruturas, com impactos, principalmente econômicos, expressivos (BUSTAMANTE, 2022). Assim, ações que visem analisar e aumentar a resiliência desses sistemas de infraestruturas críticas devem compor os planos de adaptação climática, sendo uma parte fundamental das políticas públicas de enfrentamento de eventos extremos (BUSTAMANTE, 2022).

Tal vulnerabilidade e a crescente preocupação sobre o tema podem ser constatadas com a reunião da ANEEL com as distribuidoras de energia elétrica em novembro de 2023. Na ocasião a Agência buscou discutir junto aos agentes ações imediatas para enfrentamento das ocorrências climáticas e sua recorrência, principalmente durante o período úmido (ANEEL, 2023).

Desse evento foram estabelecidas uma série de medidas emergenciais, visando o aprimoramento das ferramentas de detecção de eventos climáticos extremos, a instituição de canais de comunicação direta com entes públicos e ações para otimizar o manejo vegetal e atualização dos planos de contingência das distribuidoras de energia (ANEEL, 2023).

Complementarmente, a Agência organizou em 22 de fevereiro de 2024 o evento “Resiliência de redes frente a fenômenos Climáticos de Elevada Severidade”, com extensa programação e o objetivo de discutir a problemática com agentes do setor e especialistas no tema (RESILIÊNCIA, 2024).

Diante do exposto, conclui-se ser primordial a adaptação, principalmente dos centros urbanos, às mudanças climáticas. A adaptação pode ser definida como um conjunto de processos

que visam ajustar as cidades para antecipar os feitos das mudanças climáticas, reduzindo a vulnerabilidade a situações de risco geradas por eventos climáticos adversos (TEIXEIRA et al., 2020).

Ao processo de adaptação, dentre outros, está incluído o setor de infraestrutura de distribuição de energia, foco do presente trabalho. Contudo, cumpre destacar que um setor isoladamente não é capaz de se adaptar aos efeitos das mudanças climáticas, tendo as políticas públicas um papel fundamental para articular diversas áreas de atuação com essa finalidade.

Assim, para que os planos e protocolos de adaptação possam ser bem-sucedidos, é necessário conhecer o cenário atual e de que forma a continuidade de fornecimento está relacionada aos eventos climáticos, principalmente os denominados extremos. Sobre o tema, alguns trabalhos foram realizados nos últimos anos.

Em Freitas et al. (2023) foi realizada uma análise exploratória da correlação das falhas em redes de distribuição do estado de São Paulo e variáveis meteorológicas para o ano de 2022 relacionadas à temperatura, umidade precipitação e vento. Dessa verificação, Freitas et al. (2023) constatou correlações moderadas entre as variáveis meteorológicas e a quantidade e duração de falhas da rede de distribuição, o que ratifica a relevância do tema para melhor compreender o impacto das mudanças climáticas nesse setor, além de auxiliar no planejamento e tomada de decisão em relação à infraestrutura de distribuição de energia elétrica.

Ainda sob o viés de delimitação do tema, mas destacando a relevância, em Resende (2022) foi realizada a avaliação do impacto de ditos “fatores externos” na qualidade do fornecimento de energia elétrica da zona urbana de Araguaína – Tocantins entre os anos de 2018 e 2019. O trabalho avaliou o fator gerador, ou seja, a causa, das ocorrências no período, e, utilizando da ferramenta de qualidade “Diagrama de Pareto” constatou que 80 % das ocorrências se deram em razão das causas naturais, como descargas atmosféricas e vegetação na rede. Dessa maneira, pode-se verificar o forte impacto das causas ambientais para a região avaliada, com uma abordagem de verificação diferente da realizada em Freitas et al. (2023).

Foi possível observar ainda verificações da relação de chuvas com a quantidade de interrupções de energia no Ceará em VIEIRA et al. (2020). O autor adotou a teoria do teste de

hipóteses para fazê-lo, com foco nas informações de precipitações e quantidade de interrupções de longa duração¹ no Ceará entre os anos de 2014 e 2016. Nesse estudo, confirmou-se a hipótese de que há o incremento da quantidade de interrupções de energia elétrica nos dias chuvosos, demonstrando, novamente, em uma área restrita do Brasil, a forte relação entre condições naturais e as interrupções de fornecimento.

No âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL, instituído pela Lei nº 9.991 de 24 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), também foram realizadas investigações sobre essa temática, a exemplo dos projetos de P&D, conforme pesquisa realizada na base de dados abertos da ANEEL². O projeto P&D PD-00063-3078/2022 da CPFL Paulista busca avaliar a metodologia de definição dos limites regulatórios dos indicadores de continuidade e, para tanto, busca as variáveis, também denominadas de atributos, com maior poder de explicação para um modelo de definição desses limites.

Dentre esses atributos, tem-se também variáveis ambientais. Outro projeto correlato a essa temática é o PD-00404-1901/2018 da Energisa Mato Grosso do Sul, intitulado “Análise fenomenológica da Qualidade do Serviço utilizando os dados da BDGD e variáveis ambientais” o trabalho teve por objetivo, dentre outros, levantar dados climáticos e propor aprimoramentos na metodologia de definição dos limites dos indicadores de continuidade.

Dada a relevância e atualidade das discussões acima dispostas, esta dissertação visa contribuir com o debate setorial ao responder questionamentos como: A qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica está correlacionada em que grau com as variáveis ambientais? As alterações dessas variáveis ao longo do tempo aumentaram ou reduziram sua correlação e impactos ao sistema de distribuição?

¹ Interrupções com duração superior a 3 minutos conforme definição do Módulo 1 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST).

² <https://dadosabertos.aneel.gov.br/>

1.2 Solução proposta

Para resolução dos questionamentos acima dispostos foram levantados os dados inerentes à qualidade do serviço de distribuição de energia, bem como variáveis ambientais, para que fosse calculado o coeficiente de correlação, a fim de verificar de que forma esses dois conjuntos de variáveis se relacionam.

Finalmente, a hipótese busca confirmar as alterações das variáveis climáticas nos últimos anos, principalmente aquelas relacionadas à temperatura máxima, às precipitações e à velocidade de ventos, e, confirmar a hipótese intuitiva de que tais variáveis estão correlacionadas ao fornecimento de energia com qualidade.

Dessa maneira, procura-se não só subsidiar o debate sobre o tema, na busca por métodos para melhor definir limites regulatórios de qualidade a serem perseguidos pelos agentes de distribuição e/ou conceber incentivos regulatórios para melhoria da qualidade do serviço, como também auxiliar as distribuidoras de energia para atuarem de maneira preventiva, mapeando áreas de risco, e corretiva, propiciando melhor alocação de equipes de acordo com as condições meteorológicas, por exemplo.

Isso posto, essa dissertação terá como foco a análise dos dados ambientais e de continuidade brasileiros dos anos de 2013, 2018 e 2023. Por dados ambientais, serão estudadas variáveis relacionadas à temperatura (máxima e média), às precipitações (soma e máxima) e às rajadas de vento (máxima e média). Os dados técnicos referentes à continuidade do serviço serão discriminados por conjunto elétrico, cuja definição será apresentada na FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA, sendo, a duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC), a frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC), totais e coletivos.

1.3 Justificativa

O dinamismo no setor elétrico é um fato irrefutável e perpassa desde as características de rede em si, com o avanço tecnológico constante, até as características “exógenas” ao negócio de distribuição de energia elétrica, a exemplo das mudanças climáticas, fortemente experienciadas nos últimos anos. Todos esses fatores, sob gestão ou não das distribuidoras de energia elétrica,

afetam a qualidade do serviço prestado, imprimindo maiores ou menores desafios ao fornecimento contínuo de energia.

À vista disso, é essencial que sejam conhecidos os efeitos reais desses fatores exógenos para que a regulamentação setorial empregada defina metas condizentes com a realidade, de maneira que o sinal regulatório alcance os objetivos esperados, além de que seja possível que as distribuidoras de energia elétrica possam planejar de maneira mais acurada seus investimentos.

os efeitos reais desses fatores exógenos para que a regulamentação setorial empregada defina metas condizentes com a realidade, de maneira que o sinal regulatório alcance os objetivos esperados, além de que seja possível que as distribuidoras de energia elétrica possam planejar de maneira mais acurada seus investimentos.

De acordo com ROCKSTRÖM et al. (2009), a nível mundial, as mudanças climáticas já são um fato estabelecido, em face das elevadas concentrações de dióxido de carbono na atmosfera que por sua vez deliberam eventos em cadeia, com o aumento da temperatura global, redução das calotas polares, alterações na distribuição da vegetação, ocorrências de chuvas intensas, dentre outros.

Os efeitos dos gases de efeito estufa (GEE) podem ser comprovados pelo aumento da temperatura média global (continental e oceânica) de 1,1 °C (ARTAXO, 2020). No Brasil, em linha com o cenário mundial, verifica-se também o incremento da temperatura média quando avaliado o período de 1850 a 2019. Conforme já apresentado nesse texto, o aumento da temperatura média brasileira, calculado pelo *Berkeley Earth Group*, foi ainda mais relevante que a média mundial, sendo de 1,52 °C nesse período (ARTAXO, 2020).

É fato que todos os segmentos do setor elétrico, geração, transmissão e distribuição de energia, estão sujeitos aos fenômenos climáticos. Os eventos extremos, por sua vez, a exemplo de ventos fortes, tempestades, enchentes e secas prolongadas, possuem grande potencial de comprometimento de toda essa cadeia, afetando sobremaneira a confiabilidade e qualidade do fornecimento de energia (FREITAS et al., 2023).

Os desdobramentos a distribuição de energia, podem ser observados pelos danos causados a esta infraestrutura crítica, cujos riscos naturais podem ter consequências para a segurança e o fornecimento destes serviços para a população (BUSTAMANTE, 2022).

Exemplos recentes da extensão de danos que tais eventos podem causar às redes de distribuição de energia elétrica puderam ser observados nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul ao longo do ano de 2023 e início de 2024. No Rio Grande do Sul, foram experimentados diversos ciclones extratropicais nesse período, com 9 ocorrências somente entre junho e setembro de 2023 (TRINDADE, 2023). Como resultado desses ciclones, o estado vivenciou elevados volumes de precipitação, ocasionando inundações, que deixaram dezenas de milhares de pessoas desabrigadas (CHUVAS, 2023a). Os danos às redes de distribuição, dentre outras infraestruturas, foram evidentes e extensivos, conforme pode ser observado da Figura 4 à Figura 9.

Além do impacto direto com a avaria dos equipamentos e redes do sistema de distribuição, cumpre destacar que é possível afirmar, intuitivamente, que os tempos de abastecimento são majorados também pela dificuldade de deslocamento, inerente ao cenário de inundação e comprometimento de estradas e vias de acesso, e pela necessidade de desligamentos de urgência, com a finalidade de resguardar a segurança da população diante da proximidade do nível da água com as redes elétricas.

Figura 4: Temporal causa danos em Lajeado e outras cidades no Rio Grande do Sul.



Fonte: Cambraia (2024).

Figura 5: Temporal causa danos em Santa Maria e outras cidades no Rio Grande do Sul.



Fonte: Cambraia (2024).

Figura 6: Imagem aérea de Montenegro, no RS, após ser atingida por ciclone extratropical.



Fonte: Trindade (2023).

Figura 7: Famílias são resgatadas em área alagada de Eldorado do Sul.



Fonte: Chuvas (2023a).

Figura 8: Ruas alagadas em 2024 em Porto Alegre.



Fonte: Munhoz e Nestlehner (2024).

Figura 9: Município de Travesseiro - RS isolado após enchentes de 2024.



Fonte: Menezes (2024).

Em São Paulo, destaca-se o temporal no início de novembro de 2023, que expôs diversas fragilidades do modelo vigente diante das mudanças climáticas, sendo o estopim para uma série de discussões posteriores, as quais ainda estão em andamento. A tempestade foi acompanhada de descargas atmosféricas e ventos de até 100 km/h, resultando em cerca de 900 árvores caídas (CARVALHO, 2023), com mais de 4 milhões de unidades consumidoras interrompidas em 23 municípios do estado de São Paulo (CHUVAS, 2023b). Dado a delonga para restabelecimento, tendo sido necessários 3 dias para reestabelecimento de 98% dos clientes impactados (CHUVAS, 2023b) decorrentes de falhas da distribuidora, a ANEEL aplicou em fevereiro de 2024 penalidade de multa de mais de R\$ 165 milhões à distribuidora detentora da concessão, Enel São Paulo (ANEEL, 2024a).

Os eventos supramencionados alertam sobre a imprescindibilidade de conhecer e quantificar os efeitos de causas ambientais sobre as infraestruturas, dentre elas, o sistema de distribuição de energia elétrica. Outrossim, a avaliação de tais efeitos poderá propiciar um melhor planejamento e predição de ações que visem aumentar a resiliência e preparação da infraestrutura de distribuição de energia frente às mudanças climáticas (BUSTAMANTE, 2022).

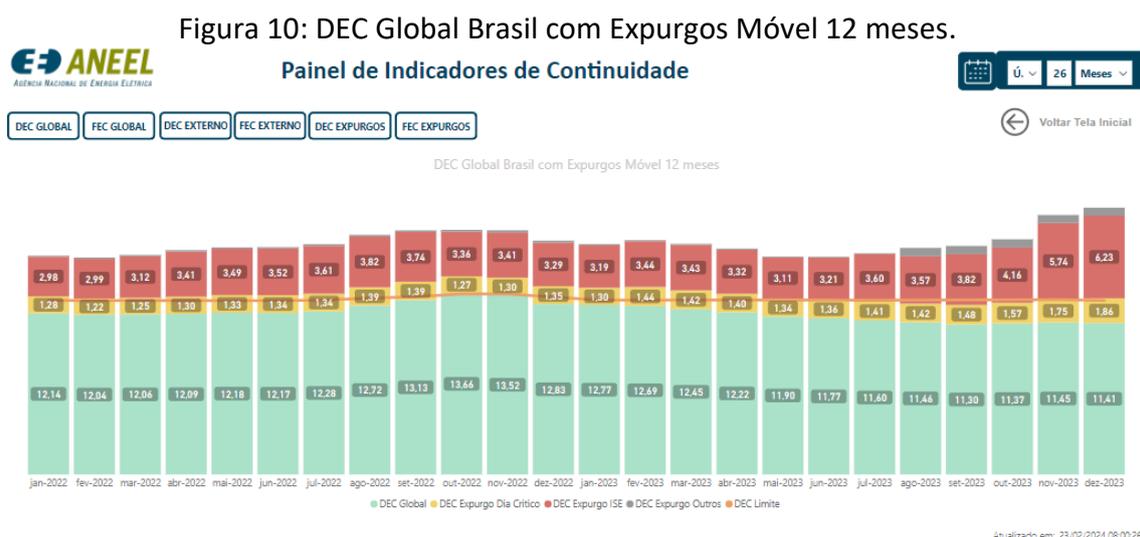
Complementarmente, quando avaliada a situação experienciada pela distribuidora de energia Enel São Paulo no evento descrito nesse texto, é necessário acautelar sobre a necessidade de adequação regulatória para o tratamento desse tipo de problema, com o questionamento principal sobre a efetividade da aplicação de penalidades elevadas para garantia da qualidade do fornecimento mediante eventos climáticos extremos.

O equilíbrio entre a qualidade do fornecimento e a prudência de investimentos para garantia desta qualidade, com implicações inclusive na modicidade tarifária, é ainda mais complexo quando examinados sob o prisma de eventos climáticos extremos. Assim sendo, conhecer as implicações de tais eventos é primordial para a definição de uma regulamentação que propicie o sinal regulatório adequado com plena paridade das demandas apresentadas.

Além dos casos isolados apresentados nesse texto, de maneira geral no Brasil nota-se o aumento das interrupções em situações de emergência. As interrupções em situação de emergência (ISE), que serão melhor descritas na FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA, são definidas no

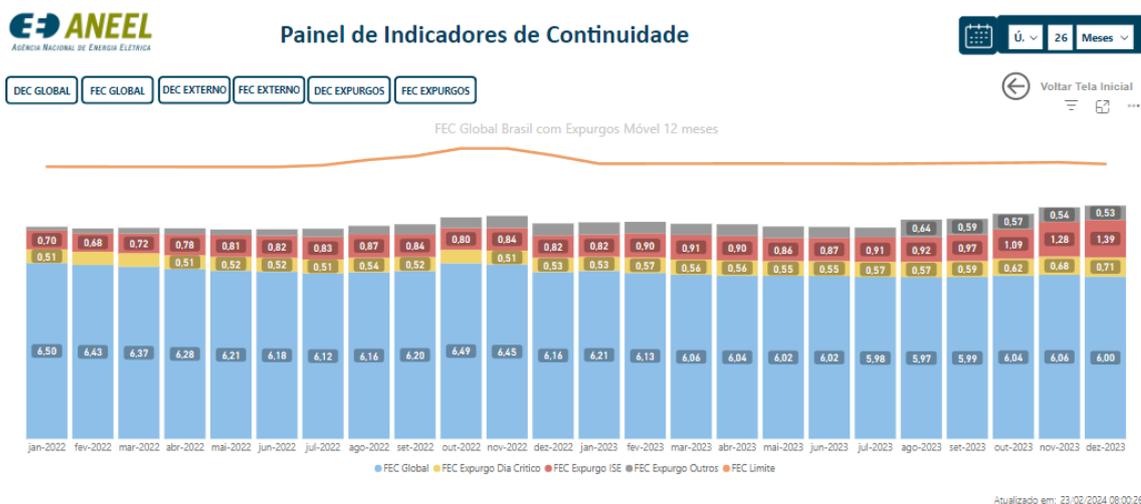
Módulo 1 do PRODIST (Anexo I da Resolução Normativa nº 956, de 07 de dezembro de 2021) (ANEEL, 2021c) como uma “interrupção originada no sistema de distribuição, resultante de Evento que comprovadamente impossibilite a atuação imediata da distribuidora e que não tenha sido provocada ou agravada e que seja” decorrente de decorrente de “Evento associado a Decreto de Declaração de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública emitido por órgão competente” ou “decorrente de Evento cuja soma do CHI (consumidor hora interrompido) das interrupções ocorridas no sistema de distribuição seja superior ao CHI_{limite} da distribuidora”.

Isso posto, a duração e frequência equivalentes de interrupções decorrentes de situações de emergência, denominadas DEC_{ine} e FEC_{ine} , cresceram 109% e 99%, respectivamente, quando comparadas as apurações anualizadas de janeiro de 2022 e dezembro de 2023, como pode ser observado na Figura 10 e na Figura 11.



Fonte: ANEEL (2024d).

Figura 11: FEC Global Brasil com Expurgos Móvel 12 meses.



Fonte: ANEEL (2024d).

Esse comportamento por si só já aponta para uma forte influência dos eventos climáticos sobre a duração e frequência das interrupções no fornecimento de energia elétrica decorrentes de falhas no sistema de distribuição. Contudo, para caracterização enquanto situação de emergência, há uma série de critérios a serem atendidos, não sendo possível que os indicadores DEC_{ine} e FEC_{ine} isoladamente traduzam todo o impacto dos riscos naturais ao segmento de distribuição.

Assim, em razão dos eventos extremos mais intensos e frequentes e do aumento das interrupções em situação de emergência, foram realizados diversos fóruns de discussão pela ANEEL, com o intuito de coletar sugestões e catalogar melhores práticas para garantir a qualidade do fornecimento diante dos eventos climáticos extremos cada vez mais intensos e frequentes no Brasil. Em 29 de novembro de 2023, a ANEEL realizou reunião com a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) e representantes dos agentes de distribuição para debater sobre ações de curto, médio e longo prazo para mitigar os efeitos dos eventos climáticos neste segmento, como exposto na Nota técnica nº 7/2024-STD-SFT/ANEEL (ANEEL, 2024c).

Entre novembro e dezembro de 2023 foram realizadas reuniões específicas com algumas distribuidoras de energia como Light e Cemig-D e representantes de relevantes grupos econômicos do setor como Equatorial, Enel, Energisa e Neoenergia. Nesses fóruns restritos, conforme Nota técnica nº 7/2024-STD-SFT/ANEEL (ANEEL, 2024c), foram apresentados pelas distribuidoras a pedido da ANEEL o planejamento para atendimento de ocorrências emergenciais em cenários críticos como aqueles relativos a eventos climáticos extremos.

A ANEEL também realizou reuniões com o poder público, a exemplo do encontro em Porto Alegre com o governador do estado em janeiro de 2024 para apresentação das medidas tomadas pela Agência diante dos eventos de 2023 e 2024 no Rio Grande do Sul (EVENTOS, 2024), e da reunião em São Paulo com distribuidoras e governo do estado em novembro de 2023 também para apresentar as medidas da Agência (CHUVAS, 2023b).

Ainda em linha com a necessidade de avaliação e contribuições das medidas necessárias para mitigação do impacto das mudanças climáticas no setor de distribuição de energia, a ANEEL instaurou duas Tomadas de Subsídio, a nº 002/2024 com o objetivo de avaliar a necessidade de intervenção regulatória associada ao aumento da resiliência do sistema de distribuição e de transmissão a eventos climáticos extremos e a nº 004/2024 com o intuito de obter subsídios para melhoria dos relatórios que caracterizam as interrupções em situação de emergência.

Finalmente, em 22 de fevereiro de 2024 foi promovido pela ANEEL o workshop “Resiliência de Redes Frente a Fenômenos Climáticos de Elevada Severidade”, com ampla participação dos agentes do setor, da diretoria da ANEEL, da diretoria da ABRADÉE, da ABRATE, do Operador Nacional do Sistema (ONS), especialistas do Climatempo, meteorologistas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dentre outros.

Trabalhos recentes sobre o tema ratificam sua atualidade e pertinência, com diversas abordagens, inclusive no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL. Em Freitas et al. (2023) foi realizada análise similar à proposta nesse trabalho, porém, restrita ao estado de São Paulo. Freitas et al. (2023) constatou correlações moderadas entre as variáveis meteorológicas e a quantidade e duração de falhas da rede de distribuição do estado de São Paulo.

Em Resende (2022), foi realizada a avaliação do impacto de ditos “fatores externos” na qualidade do fornecimento de energia elétrica da zona urbana de Araguaína – Tocantins entre os anos de 2018 e 2019, tendo a análise sido realizada com uso da ferramenta de qualidade “Diagrama de Pareto” e com resultados expressivos no que diz respeito à participação de causas naturais na apuração dos indicadores de continuidade de Araguaína – Tocantins. VIEIRA et al. (2020), por sua vez, usou a teoria do teste de hipótese para demonstrar a relação de chuvas com a

quantidade de interrupções de energia no Ceará, tendo confirmado a hipótese de que há o incremento da quantidade de interrupções de energia elétrica nos dias chuvosos.

Da base de projetos submetidos ao Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, pode-se extrair projetos voltados para avaliação do impacto das variáveis ambientais no modelo regulatório para definição dos limites dos indicadores de continuidade, a exemplos do projeto P&D PD-00063-3078/2022 da CPFL Paulista e do P&D PD-00404-1901/2018 da Energisa Mato Grosso do Sul. Cumpre esclarecer que os trabalhos aqui citados focaram seja em determinados estados ou cidades brasileiras, seja em estudos para definição de metodologias para definição de limites regulatórios de continuidade.

Diante do exposto, resta comprovada a importância e contemporaneidade do tema proposto neste trabalho, tanto pelo viés regulatório quanto pelo viés operacional. Analisar a correlação das variáveis ambientais com os indicadores de continuidade (duração e frequência) e os tempos operacionais, permitirá ampliar as avaliações já realizadas Freitas et al. (2023) e realçar as verificações sobre eventos climáticos extremos dispostas no P&D PD-00063-3078/2022.

Finalmente, como principal resultado, espera-se contribuir para as discussões setoriais em andamento, permitindo uma avaliação quantitativa do problema, e, sob o viés operacional, almeja-se viabilizar direcionamentos para o refinamento do planejamento das redes de distribuição, sua manutenção e operação.

1.4 Objetivos

Essa dissertação busca avaliar de que forma se correlacionam variáveis ambientais aos indicadores de qualidade do serviço atualmente adotados pela ANEEL, quantificando e subsidiando as discussões regulatórias em andamento sobre a resiliência das redes face eventos climáticos extremos, bem como auxiliando no planejamento da manutenção e operação das redes de distribuição.

Já os objetivos específicos foram:

1. Levantar variáveis ambientais que descrevam comportamentos médios e extremos relativos a temperaturas, precipitações e rajadas de vento no Brasil com referência aos anos de 2013, 2018 e 2023;
2. Levantar indicadores técnicos que exprimem a qualidade do serviço, tais quais, duração e frequência das interrupções com referência aos anos de 2013, 2018 e 2023;
3. Levantar e optar por método de interpolação para que sejam possíveis os dados ambientais de acordo com a unidade de acompanhamento dos indicadores técnicos, qual seja, conjuntos elétricos;
4. Avaliar, escolher e calcular coeficiente de correlação dos dados climáticos com indicadores técnicos levantados;
5. Analisar resultados de correlação obtidos.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está organizado em 3 capítulos correlacionados. Antecede os capítulos uma Introdução, no qual foi apresentado por meio da contextualização o tema proposto neste trabalho. Da mesma forma foram estabelecidos os resultados esperados por meio da definição de seus objetivos e apresentadas as limitações do trabalho permitindo uma visão clara do escopo proposto.

O Capítulo 1 foi apresentado a fundamentação teórica dos temas, perpassando pelos conceitos e histórico da qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica no Brasil, pelos métodos de interpolação necessários para que todos os dados levantados sejam avaliados em uma mesma unidade espacial, os ditos conjuntos elétricos, e pelos métodos estatísticos para cálculo da correlação, cujos resultados são o foco deste trabalho. No Capítulo 2 foi apresentada uma metodologia da pesquisa, pormenorizando as etapas e métodos necessários para obtenção dos resultados a serem apresentados no Capítulo 3. Finalmente após os capítulos foram descritas as conclusões e a perspectiva de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para melhor compreensão das verificações pretendidas neste trabalho, foi necessária a elucidação sobre os conceitos de qualidade do serviço atualmente adotados no setor de distribuição de energia elétrica e, também, sobre o histórico das discussões setoriais sobre o tema, incluindo aquelas referentes à definição de metas que visem regular a continuidade do fornecimento de energia elétrica no Brasil. A assimilação da metodologia de definição das metas regulatórias para a qualidade do serviço elucidará as análises já feitas pela ANEEL no sentido de buscar explicar, através de um modelo de regressão por meio do procedimento *stepwise*, as variáveis que têm impacto nesses indicadores.

Ademais, nesse capítulo, foram discutidos sobre métodos de interpolação, os quais, de acordo com a metodologia a ser apresentada na sequência, são primordiais para obtenção das informações climáticas na unidade de observação adotada para acompanhamento da qualidade do serviço, qual seja, conjunto elétrico. Dessa maneira, informações coletadas por municípios, regiões, bairros e outros, serão apresentadas para cada um dos conjuntos elétricos do sistema elétrico brasileiro.

Por fim, em posse das informações ambientais e técnicas por conjunto elétrico, foi necessária a aplicação de métodos para determinação do índice de correlação entre elas. Por isso, nessa fundamentação teórica, também serão abordados os métodos e parâmetros para definição dos índices de correlação.

2.1 A qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica no Brasil

O desenvolvimento econômico e social está diretamente ligado ao fornecimento de energia. Nesse sentido, o fornecimento intermitente e com longas interrupções, tampouco oferece aos consumidores os benefícios do pleno uso da eletricidade (DE MENDONÇA et al., 2022). Por isso, existe um elevado interesse em aplicar melhorias contínuas ao arcabouço regulatório sobre o tema qualidade do serviço, já que este está diretamente associado ao bem-estar econômico e social. A seguir serão abordados aspectos históricos sobre a regulamentação, até os regramentos atualmente vigentes, além de conceitos básicos associados à qualidade do serviço.

A qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica no Brasil teve início, de maneira regulamentada, é datada de 1978 com a Portaria DNAEE nº 46/1978 (DNAEE, 1978). Posteriormente, em 2000, a regulamentação passou por adequações através da Resolução ANEEL nº 24/2000 (ANEEL, 2000). Os regulamentos associados à qualidade do serviço então, passam a compor os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) a partir da Resolução Normativa nº 345/2008 (ANEEL, 2008b). A partir de então, novos aprimoramentos foram incorporados com a Resolução Normativa nº 641/2014 (ANEEL, 2014) e, mais recentemente, com a Resolução Normativa nº 925/2021 (ANEEL, 2021b).

A Portaria DNAEE nº 46/1978 foi editada em 17 de abril de 1978 (DNAEE, 1978) e foi responsável por inaugurar no Setor Elétrico Brasileiro (SEB) regras relacionadas à continuidade do fornecimento de energia elétrica. Ainda no primeiro artigo foram estabelecidos indicadores a serem apurados e acompanhados para cada conjunto de unidades consumidoras de determinada concessão. Tais indicadores, Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), estão presentes na regulamentação setorial sobre o tema.

De acordo com esta portaria os indicadores deveriam ser apurados com frequência trimestral e anual, sendo computadas somente interrupções de fornecimento com duração superior a 3 minutos. Também foram estabelecidos limites máximos de acordo com o nível de tensão de atendimento, tipo de sistema (aéreo ou subterrâneo) e quantidade de consumidores do conjunto de unidades consumidoras avaliados (vide exemplo dos limites aplicados a conjuntos de unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 kV na Tabela 1 a seguir).

Os limites trimestrais correspondiam a 40 % dos limites anuais. Assim, além do acompanhamento dos indicadores de continuidade, a Portaria DNAEE nº 46/1978 estabeleceu também patamares aceitáveis para a qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica (Tabela 1).

Tabela 1: Padrões coletivos anuais de continuidade.

Unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 kV	DEC (horas)	FEC (ocorrências)
Atendido por sistema subterrâneo com secundário reticulado	15	20
Atendido por sistema subterrâneo com secundário radial	20	25
Atendido por sistema aéreo, com mais de 50.000 consumidores	30	45
Atendido por sistema aéreo, com número de consumidores entre 15.000 e 50.000	40	50
Atendido por sistema aéreo, com número de consumidores entre 5.000 e 15.000	50	60
Atendido por sistema aéreo, com número de consumidores entre 1.000 e 5.000	70	70
Atendido por sistema aéreo, com menos de 1.000 consumidores	120	90

Fonte: DNAEE (1978).

Importa destacar que os limites foram estabelecidos de maneira uniforme para todo o Brasil, ou seja, não guardavam relação com características regionais, assim, conjuntos de unidades consumidoras em situações e localidades completamente diferentes deveriam atender as mesmas metas, independente do nível de esforço e investimento e mesmo a factibilidade de tal feito.

Além disso, nessa portaria não foram estabelecidas penalidades para o caso de violação dos limites estabelecidos para continuidade do fornecimento, havendo tão somente a determinação de que, uma vez violadas as metas, fossem tomadas providências como intuito de normalizar o fornecimento em um prazo de 180 dias.

Dessa maneira, a temática da qualidade do serviço foi introduzida no Brasil, ainda que embrionária e com efeito prático limitado em razão da inexistência de penalidades (PESSANHA, 2006), e perdurou, nesse formato, por mais de duas décadas, sendo finalmente substituída no início dos anos 2000 pela Resolução ANEEL nº 24/2000 (ANEEL, 2000).

A Resolução ANEEL nº 24/2000 (ANEEL, 2000) surge em um contexto de reestruturação do SEB. Na década de 1990, com o intuito de garantir a prestação do serviço de distribuição de energia elétrica de forma eficaz, confiável e com baixo custo, o governo brasileiro iniciou a privatização de grande parte do setor elétrico, além de criar a ANEEL, que passou a ser o órgão regulador das atividades e dos serviços do SEB (DE MENDONÇA et al., 2022). Os novos contratos de concessão, a fim de corrigir a desatualização e inadequação da antiga portaria, passaram a prever padrões mais rigorosos, tomando por base o desempenho médio verificado (PESSANHA, 2006).

Isso posto, como já abordado nesse texto, apesar de a Portaria DNAEE nº 46/1978 (DNAEE, 1978) estabelecer limites para o DEC e para o FEC, não previu penalidades associadas a seu descumprimento, levando a efeitos insuficientes na melhoria da qualidade do serviço no Brasil. Logo, vislumbrou-se a necessidade de, além da fixação de padrões mínimos a serem atendidos, a previsão do risco de sanções e de penalidades por seu descumprimento (PESSANHA, 2006).

As inovações e o rigor dos novos contratos de concessão foram então consolidados na Resolução ANEEL nº 24/2000 (ANEEL, 2000). Dessa forma, para orientar as distribuidoras de energia elétrica na direção do desempenho considerado adequado (PESSANHA, 2006), foram regulamentadas as seguintes alterações/inovações:

- Criação dos indicadores individuais de continuidade DIC (Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora), FIC (Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora) e DMIC (Duração Máxima de Interrupção Individual por Unidade Consumidora) (DE MENDONÇA et al., 2022) com metas dependentes do DEC e FEC de seus respectivos conjuntos elétricos (PESSANHA, 2006);

- Definição das metas com base em análise comparativa de desempenhos das distribuidoras e dos conjuntos de unidades consumidoras com a aplicação de princípios da *yardstick competition* e no algoritmo *k-means* (PESSANHA, 2006);
- Estabelecimento de metas de desempenho futuro para as concessionárias de distribuição de energia elétrica (DE MENDONÇA et al., 2022), com revisão dos limites a cada Revisão Tarifária Periódica da distribuidora de energia (PESSANHA, 2006);
- Estabelecimento de determinações para assegurar a correta coleta de atributos para caracterização dos conjuntos de unidades consumidoras e para apuração rigorosa do DEC e FEC (PESSANHA, 2006);
- Estabelecimento do conceito de dia crítico, os quais correspondiam aos dias em que a quantidade de ocorrências emergenciais superava a média dos últimos 24 meses acrescida de três desvios padrões;
- Estabelecimento do conceito de situação de emergência ou calamidade pública, em que a interrupção é motivada por caso fortuito ou de força maior, devendo ser comprovado pela distribuidora de energia e mediante decreto emitido por órgão competente;
- Previsão de apuração dos indicadores de continuidade mensalmente, trimestralmente e anualmente (DE MENDONÇA et al., 2022);
- Estabelecimento de duas modalidades de penalização das distribuidoras: compensações financeiras aos consumidores e multas aplicáveis às concessionárias; e outros.

Nota-se que, a partir da Resolução ANEEL nº 24/2000 (ANEEL, 2000), além de estabelecer padrões mais rígidos e prever penalidades e sanções às distribuidoras de energia por seu descumprimento, estabeleceu conceitos relacionados a dia crítico e situação de emergência, os quais indicam um primeiro passo do setor para estabelecer excludentes de responsabilidade das

concessionárias de energia diante de eventos adversos, a exemplo dos eventos climáticos extremos que são abordados nesse trabalho. Cumpre destacar que, à época, não era previsto o expurgo das ocorrências em dia crítico dos indicadores coletivos e individuais de continuidade.

As discussões sobre as condições climáticas adversas, ou casos fortuitos ou de força maior, iniciaram no setor elétrico de maneira estruturada com a Audiência Pública nº 01/2005 (AP 01/2005), em que, os concessionários de distribuição de energia pleitearam que as ocorrências em dia crítico fossem expurgadas do cômputo dos indicadores de continuidade (PESSANHA, 2006).

O trecho da contribuição da ABRADEE no âmbito da AP 01/2005, em que é sublinhada a necessidade de revisão do conceito de dia crítico e sua exclusão da apuração de compensações por violação dos indicadores de continuidade, por abranger situações em que, ainda que tenham a mesma dimensão de situações de emergência e de calamidade pública, não há decreto emitido por órgão competente:

Justificativa: No inciso I do Art. 22 é prevista a desconsideração de interrupções associadas à situação de emergência ou de calamidade pública quando decretada por órgão competente. No entanto, **situações de proporções similares àquelas que são decretadas como de calamidade, são registradas pelas concessionárias sem, contudo, haver o reconhecimento, pelos órgãos competentes, como sendo de calamidade.** A regulação em alguns países (na Europa e nos USA) já prevê a ocorrência de tais situações, estabelecendo critérios para a definição de “dias críticos”. A própria ANEEL já reconheceu, conforme previsto no Art. 9 – Metas de Atendimento, da Resolução 057/2004 – que trata da Central de Teleatendimento CTA, a possibilidade de serem expurgados os dias considerados como ‘atípicos’. Grifou-se (ABRADEE, 2005)

Posteriormente, após novas rodadas de discussões setoriais através da Audiência Pública nº 14/2008 (AP 14/2008), ainda em 2008 são aprovados os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) e a regulamentação referente à continuidade do fornecimento passa a figurar em seu Módulo 8, aprovado por meio da Resolução Normativa nº 345/2008 (ANEEL, 2008), a qual revogou a Resolução ANEEL nº 24/2000 (ANEEL, 2000) (DE MENDONÇA et al., 2022).

A partir de então foram estabelecidos novos critérios para expurgos na apuração dos indicadores DEC e FEC, quais sejam, interrupções vinculadas a programas de racionamento instituídos pela União e interrupções ocorridas em dia crítico (DOS SANTOS, 2020).

Outro ponto que merece destaque é que, conforme previsto na Resolução ANEEL nº 24/2000, as penalidades associadas ao descumprimento dos limites para os indicadores DEC e FEC perdurariam até dezembro de 2008, assim, com o advento do PRODIST e por meio de estudos realizados pela Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição (SRD) foram determinados novos padrões para os indicadores DIC, FIC, DMIC, considerando o impacto financeiro acarretado por essa alteração na Nota técnica nº 226/2008-SRD/ANEEL (ANEEL, 2008a).

Sobre a revisão dos limites e compensações dos indicadores individuais de continuidade, as discussões se deram posteriormente na Audiência Pública nº 33/2009 (AP 33/2009). Também na AP 33/2009, Nota técnica nº 130/2009-SRD/ANEEL (ANEEL, 2009), foram revisitados os critérios para formação de conjuntos elétricos de unidades consumidoras, até então formados de maneira discricionária, passam a ser determinados pela área de atendimento de subestação que possua primário e alta tensão e secundário em média tensão, conceito até hoje adotado nas normas vigentes.

Em 2011, a partir da Audiência Pública nº 64/2011 (AP 64/2011), foi instituído novo indicador individual de continuidade, denominado Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão (DICRI), que buscou atingir o objetivo da ANEEL de incentivar as distribuidoras a atuarem de forma mais célere em dias críticos, evitando que o fornecimento de energia elétrica fosse interrompido por longos períodos em dias com essas características conforme descrito na Nota técnica nº 71/2011-SRD/ANEEL (ANEEL, 2011). A esse indicador também foram definidas metas e sua apuração foi definida para a periodicidade mensal.

A partir de 2010, no âmbito da Audiência Pública nº 46/2010, foram iniciados aprimoramentos no que se refere à metodologia de definição dos limites regulatórios para continuidade do fornecimento e do conceito de interrupção em situação de emergência, até então considerada “interrupção motivada por caso fortuito ou de força maior, a ser comprovada documentalmente pela distribuidora, conforme voto do então diretor da ANEEL Reive dos Santos, no processo nº 48500.001680/2012-16.

Assim, após diversas análises internas, incluindo pareceres da Procuradoria da ANEEL³ sobre o tema, foi concluída a Audiência Pública nº 52/2014 (AP 52/2014), com a edição da Resolução Normativa nº 664/2015 (ANEEL, 2015). Portanto, em 2016 o conceito de interrupção em situação de emergência foi redefinido de maneira a serem estabelecidos critérios mais objetivos. Logo, até os normativos vigentes, as interrupções em situação de emergência passaram a ser determinadas da seguinte forma:

Interrupção em Situação de Emergência:

Interrupção originada no sistema de distribuição, resultante de Evento que comprovadamente impossibilite a atuação imediata da distribuidora e que não tenha sido provocada ou agravada por esta e que seja:

- i. Decorrentes de Evento associado a Decreto de Declaração de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública emitido por órgão competente; ou
- ii. Decorrentes de Evento cuja soma do CHI das interrupções ocorridas no sistema de distribuição seja superior ao calculado conforme a equação a seguir:

$$2.612.N^{0,35}$$

onde: N – número de unidades consumidoras faturadas e atendidas em BT ou MT do mês de outubro do ano anterior ao período de apuração. (Módulo 1 do PRODIST) (ANEEL, 2021).

Uma vez delimitados e definidos os conceitos de situações extremas em que houvesse excludente de responsabilidade das distribuidoras de energia elétrica sobre os indicadores de continuidade associados a esses eventos, as discussões se voltaram para temas relacionados a compensações por violação destes indicadores.

Mais recentemente, em 2021 após Consulta Pública nº 38/2019 (CP 38/2019) e por meio da Resolução Normativa nº 925/2021 (ANEEL, 2021b), foram estabelecidos novos sinais regulatórios para o atingimento das metas de DEC e FEC, principalmente do primeiro. Assim, foram homologadas novas tabelas para relacionamento dos limites de DIC, FIC, DMIC e DICRI com os limites de DEC e FEC, além de novas fórmulas para cálculo das compensações. Essas alterações visaram, de acordo com a Nota técnica nº 53/2020-SRD/ANEEL (ANEEL, 2020), além de simplificar

³ Parecer nº 087/2014/PGE-ANEEL/PGF/AGU e Parecer nº 318/2015/PFANEEL/PGF/AGU.

as tabelas, convergir um montante de compensação mais relevante para um menor número de consumidores, ou seja, aqueles mais prejudicados pela descontinuidade do fornecimento.

Além disso, a Resolução Normativa nº 925/2021 (ANEEL, 2021b) estabeleceu novos métodos de incentivo tarifário para atingimento do DEC, por meio de ajustes da Componente Q do Fator X. Desse modo, conforme Nota técnica nº 53/2020-SRD/ANEEL (ANEEL, 2020) foram previstas perdas tarifárias para o caso do não atingimento das metas coletivas do DEC em mais de 80 % dos conjuntos de unidades consumidoras de uma concessão, além de penalizações a partir da reincidência de violação do DEC Global ao longo do ciclo tarifário.

Finalmente, em razão dos eventos climáticos extremos experimentados nos últimos anos, em especial a partir do segundo semestre de 2023, conforme exposto na INTRODUÇÃO desse texto, foram iniciadas e retomadas diversas discussões setoriais sobre a resiliência dos sistemas de distribuição às mudanças climáticas, bem como sobre a devida caracterização de situações de emergências.

Isso posto, a ANEEL instaurou em 2024 duas importantes tomadas de subsídios, a Tomada de Subsídios nº 02/2024 (TS 02/2024), para obter subsídios para avaliação de intervenção regulatória diante da necessidade de aumento da resiliência dos sistemas de distribuição e transmissão aos eventos climáticos extremos, e a Tomada de Subsídios nº 04/2024 (TS 04/2024) para obter insumos para definição de padrões dos relatórios de caracterização de interrupções em situação de emergência. Essas discussões ainda estão em aberto, porém, há previsão de importantes alterações regulatórias e, conseqüentemente, setoriais, decorrentes de seus resultados.

Nota-se, portanto, do histórico apresentado e das discussões setoriais que culminaram na última versão do Módulo 8 do PRODIST (Resolução Normativa nº 956/2021) (ANEEL, 2021c) e aquelas ainda em discussão que desde os primórdios a qualidade do serviço no Brasil esteve atrelada, entre outros, a dois importantes pilares:

- A previsão de **sanções e penalidades e outros sinais regulatórios** que conduzissem as distribuidoras de energia elétrica a patamares de continuidade de fornecimento condizentes com a necessidade de desenvolvimento socioeconômico; e

- A previsão de **situações em que há o excludente de responsabilidade dos concessionários** de distribuição de energia elétrica, garantindo o dimensionamento e alocação eficiente de equipes de campo e demais recursos operacionais e investimentos no sistema elétrico de distribuição de energia.

Isso posto, conclui-se que, qualquer esforço em quantificar e avaliar cenários que agreguem a discussões sobre os tópicos acima, permitem o aperfeiçoamento da regulamentação e facilitam o atingimento de níveis ótimos de qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica.

2.2 Indicadores de continuidade do fornecimento

Para melhor compreensão dos indicadores de continuidade, foi necessário conhecer as suas formulações. De acordo com a regulamentação vigente, Módulo 8 do PRODIST (revisado pela Resolução Normativa nº 956/2021) (ANEEL, 2021c), tem-se:

- Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC):

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} DIC(i)}{NUC} \quad (1)$$

em que:

i = índice de unidades consumidoras atendidas em BT ou MT faturadas do conjunto;

NUC = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT; e

DIC(i) = Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras, expressa em horas e centésimos de hora.

O DEC de cada conjunto elétrico é denominado um indicador coletivo de continuidade.

- Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC):

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} FIC(i)}{NUC} \quad (2)$$

em que:

i = índice de unidades consumidoras atendidas em BT ou MT faturadas do conjunto;

NUC = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT; e

$FIC(i)$ = Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras, expressa em interrupções e centésimos de interrupções.

O FEC de cada conjunto elétrico é denominado um indicador coletivo de continuidade.

- Agregação temporal do DEC e do FEC:

Naturalmente os indicadores de continuidade são calculados para cada conjunto de unidades consumidoras de uma concessão, tendo seus limites definidos para cada um desses agrupamentos. O DEC de cada conjunto é denominado coletivo. A agregação temporal dos indicadores coletivos permite a avaliação em períodos superiores ao mensal, como o trimestre ou o ano sendo descritas como:

$$DEC_k = \frac{\sum_{n=1}^k (DEC_n \times NUC_n)}{NUC_k} \quad (3)$$

$$FEC_k = \frac{\sum_{n=1}^k (FEC_n \times NUC_n)}{NUC_k} \quad (4)$$

$$NUC_k = \frac{\sum_{n=1}^k NUC_n}{k} \quad (5)$$

no qual:

k = total de meses do período de cálculo do indicador;

n = índice do indicador de cada mês contido no período de k meses;

DEC_k = valor do DEC no período de k meses, com duas casas decimais;

FEC_k = valor do FEC no período de k meses, com duas casas decimais;

NUC_k = número de unidades consumidoras do conjunto faturadas e atendidas em BT ou MT, para o período de k meses.

DEC_n = valor mensal do DEC apurado no mês n , com duas casas decimais;

FEC_n = valor mensal do FEC apurado no mês n , com duas casas decimais; e

NUC_n = número de unidades consumidoras do conjunto faturadas e atendidas em BT ou MT informado no mês n .

- DEC Global e FEC Global:

Os indicadores DEC e FEC globais dizem respeito ao agregado do desempenho de todos os conjuntos de unidades consumidoras de uma concessão sendo obtidos:

$$DEC_{Gn} = \frac{\sum_{i=1}^n (DEC_i \times NUC_i)}{NUC_{Gn}} \quad (6)$$

$$FEC_{Gn} = \frac{\sum_{i=1}^n (FEC_i \times NUC_i)}{NUC_{Gn}} \quad (7)$$

$$NUC_{Gn} = \sum_{i=1}^m NUC_i \quad (8)$$

no qual:

m = total de conjuntos agregados no indicador global;

i = índice do indicador de cada um dos m conjuntos contidos na agregação global;

DEC_{Gn} = valor global do DEC contendo m conjuntos, no mês n , com duas casas decimais;

FEC_{Gn} = valor global do FEC contendo m conjuntos, no mês n, com duas casas decimais;

NUC_{Gn} = soma do número de unidades consumidoras faturadas e atendidas em BT ou MT dos m conjuntos contidos na agregação, no mês n;

DEC_i = valor do DEC do conjunto i apurado no mês n, com duas casas decimais;

FEC_i = valor do FEC do conjunto i apurado no mês n, com duas casas decimais; e

NUC_i = número de unidades consumidoras faturadas e atendidas em BT ou MT do conjunto i, no mês n.

- Estratificação dos indicadores DEC e FEC:

Finalmente, os indicadores de continuidade são subdivididos em diversas componentes, relacionadas à origem e previsibilidade das interrupções, assim é ilustrado na Tabela 2 a estratificação das interrupções entre programas e não programadas e internas e externas. Por interrupções externas, entende-se ser aquelas cuja origem é alheia aos sistemas de distribuição de energia, podendo ter sido iniciadas em sistemas de transmissão ou geração de energia elétrica.

As componentes destacadas na Tabela 2 em cinza não compõem os indicadores DEC e FEC Coletivos e Globais. Assim, para fins de apuração e avaliação do atendimento aos limites regulatórios de continuidade, interrupções que se enquadram nesses conceitos não são consideradas no cálculo.

Os indicadores DEC e FEC resultantes da soma de todas as interrupções, são usualmente denominados DEC e FEC totais e esses indicadores também serão utilizados para fins de avaliação desse trabalho.

O intuito de avaliar os indicadores coletivos e totais visa estabelecer se os critérios de expurgo por dia crítico e por situação de emergência são suficientes para dissociar a situação climática da apuração dos indicadores DEC e FEC coletivos.

Tabela 2: Estratificação das interrupções de longa duração.

		Origem		
		Externa	Interna	
Previsibilidade	Programada	XP (Externa Programada)	IPC (Interna Programada e ocorrida em Dia Crítico)	IP (Interna Programada)
	Não programada	XN (Externa Não Programada)	INC (Interna Não Programada e ocorrida em Dia Crítico)	IND (Interna Não Programada)
			INE (Interna Não Programada e ocorrida em Situação de Emergência)	
INO (Interna Não Programada associada a racionamento ou acionamento Esquema de Alívio de Carga – ERAC)				

Fonte: ANEEL (2021).

- Conjunto de unidades consumidoras ou Conjunto elétrico:

Por fim, para melhor compreender a unidade sobre qual serão levantados os dados operacionais e climáticos desse trabalho, faz-se necessário conceituar os conjuntos de unidades consumidoras, ou conjuntos elétricos. De acordo com o Módulo 1 do PRODIST, que apresenta um glossário de termos técnicos do setor elétrico, tem-se:

79. Conjunto de unidades consumidoras: agrupamento de unidades consumidoras, aprovado pela ANEEL e pertencente a uma mesma área de concessão ou permissão.

A forma como as unidades consumidoras são agrupadas em conjuntos em uma mesma área de concessão está definida no Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2021), correspondendo, de maneira sintética a todas as redes de média tensão à jusante de uma subestação de distribuição (SED). As SEDs, de acordo com definição

do Módulo 1 do PRODIST, são as subestações que conectam os sistemas de distribuição de alta tensão (SDAT) aos sistemas de distribuição de média tensão (SDMT), contendo um transformador de força.

Ainda no Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2021) há uma série de regras sobre a agregação e desagregação desses conjuntos, considerando o nível de tensão da transformação, o número mínimo de unidades consumidoras, dentre outros critérios.

Em dezembro de 2023, o total de conjuntos elétricos das concessionárias de distribuição de energia elétrica brasileiras era de 3.060 conjuntos conforme painel de acompanhamento da ANEEL⁴.

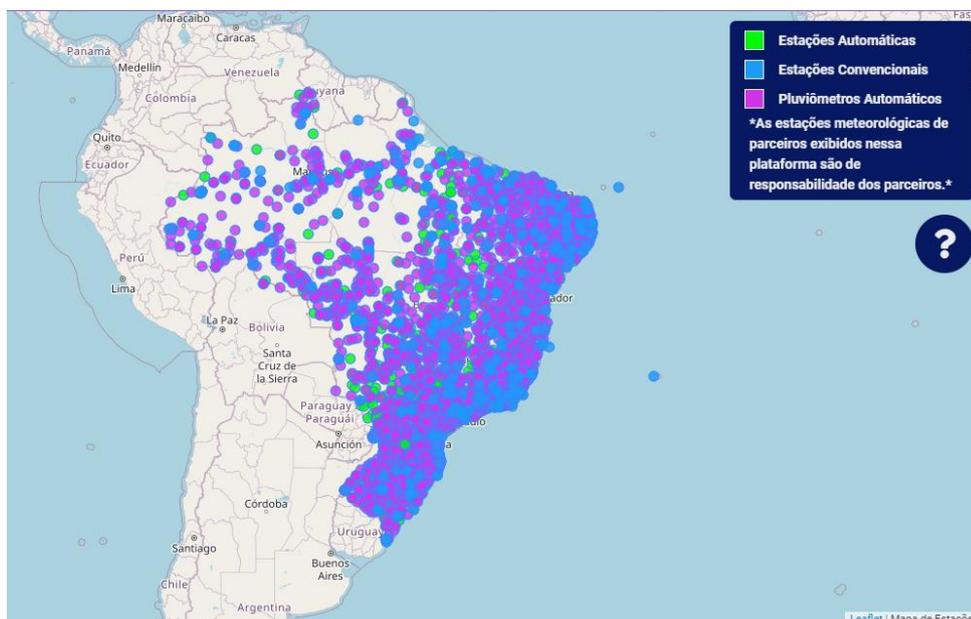
Cumpra esclarecer que, ainda conforme o Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2021), essa quantidade é dinâmica, uma vez que, a cada processo tarifário das distribuidoras de energia, pode ser solicitada a revisão das configurações dos conjuntos, considerando, principalmente, as alterações permanentes na configuração do sistema elétrico, a exemplo da energização de novas subestações de transformação de alta tensão em média tensão (SE AT/MT).

2.3 Métodos de interpolação

Os dados climáticos são obtidos por meio de estações meteorológicas distribuídas de maneira irregular por todo o território nacional, conforme pode ser observado no mapa a seguir (Figura 12), no qual são apresentadas estações meteorológicas convencionais (azul), automáticas (verde) e pluviômetros (rosa).

⁴ <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/hubDistribuicao/reportTrangressaoConjuntos>

Figura 12: Distribuição das estações meteorológicas e pluviômetros do INMET



Fonte: INMET (2024).

Sendo assim, para que seja possível realizar as estimativas dessas variáveis climáticas para cada um dos conjuntos elétricos do Brasil, faz-se necessário utilizar métodos que transformem os pontos, ou seja, cada uma das estações meteorológicas em informações climáticas que cubram espacialmente todo o território nacional.

Com essa finalidade, são apresentados nessa seção exemplos de métodos de interpolação. A interpolação é um procedimento matemático que permite estimar valores intermediários a partir de valores discretos disponíveis (MAZZINI, 2009). Desse modo, a partir de informações de pontos próximos (ou vizinhos) no espaço, é possível estimar o valor de um parâmetro cujas informações não estão disponíveis, por ausência de medições em determinadas regiões, por exemplo (SOUZA et al., 2011). A determinação da forma de relacionamento com a vizinhança e do método para viabilizar o cálculo dos valores desconhecidos constituem o processo de interpolação (SOUZA et al., 2011).

Como resultante do processo de interpolação espacial, são obtidas as isolinhas, que são linhas com o mesmo valor numérico (MAZZINI, 2009). O mapa de isolinhas são representações tridimensionais destes resultados, sendo o eixo x o das coordenadas de leste a oeste, o eixo y das

coordenadas de norte a sul e, finalmente, o eixo z aquele que representa a variável dependente, seja ela temperatura, pluviometria e outras (MAZZINI, 2009).

No que se refere às variáveis climáticas, os métodos de interpolação são amplamente aplicados, uma vez que, diferentes de informações como solo, unidades geomorfológicas e outras cujas mapas são polígonos bem delimitados, as informações dos fenômenos da atmosfera terrestre são obtidas por meio de informações discretas, apesar do seu comportamento contínuo e não na forma de objetos distintos (SOUZA et al., 2011).

Os interpoladores podem ser classificados como globais ou locais, exatos ou suavizantes, determinísticos ou estocásticos (MAZZINI, 2009), conforme definições sintetizadas na Tabela 3.

Tabela 3: Tipos de interpoladores.

Classificação do interpolador	Definição
Interpolador global	É determinada apenas uma função para toda a área mapeada, dessa maneira, a adição ou extração de um valor interfere na função e, conseqüentemente, afeta o mapa como um todo.
Interpolador local	São determinadas funções para cada parcela do mapa, por isso, a alteração de um valor afeta apenas uma região avaliada.
Interpolador exato	Utilizado quando se há certeza das informações dos pontos que baseiam a interpolação. Nesse processo de interpolação não há resíduos, ou seja, predição dos pontos amostrados tem valor igual ao próprio valor amostrado.

Interpolador “suavizante”	Utilizado quando há incertezas sobre as informações dos pontos que baseiam a interpolação. Nos processos desse tipo as curvas de superfície geradas são suavizadas com o intuito de reduzir possíveis erros dos dados amostrados.
Interpolador determinístico	Para esse tipo de interpolação não é feito o uso da probabilidade. Em contrapartida, é feita a combinação linear dos valores da amostra com base na geometria da distribuição da amostra no espaço.
Interpolador estocástico	Utiliza critérios estatísticos para determinação dos pesos dos pontos da amostra.

Fonte: Elaboração própria com base nas definições de Mazzini (2009).

Assim, tem-se diversos métodos de interpolação, que podem variar entre as diferentes classificações acima listadas a partir da configuração de seus parâmetros (MAZZINI, 2009). Dentre os métodos usualmente utilizados, podem ser citados:

- Inverso ponderado da distância (IDW – *Inverse Distance Weighting*)

Nesse método é realizada a estimativa espacial da variável com base na ponderação dos pesos de cada um dos n pontos com informações disponíveis mais próximos em função do inverso da distância. Assim, quanto mais próximo o ponto estiver do valor a ser estimado, maior peso será atribuído a esse ponto amostrado (VIOLA et al., 2010). A expressão é determinada por:

$$P_{est_p} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{obs_i} \times d_i^{-\rho}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-\rho}} \quad (9)$$

no qual:

$Pest_p$: Valor estimado em um ponto p .

$Pobs_i$: i -ésimo ponto vizinho amostrado/observado.

i : Número do ponto vizinho.

n : Quantidade de pontos vizinhos.

d_i : Distância euclidiana entre a posição p e o i -ésimo ponto amostrado/observado.

ρ : Fator peso.

Cumprir destacar que o parâmetro ρ é determinado pelo usuário, conferindo maior influência para a distância quanto maior o fator peso escolhido e vice e versa.

- Mínima curvatura (*Spline*)

Interpolação por meio de um polinômio que gera uma superfície suavizada através dos pontos amostrados (SOUZA et al., 2011). Diferente de outros métodos polinomiais, o *spline* não utiliza um polinômio de grande ordem para realizar a interpolação do conjunto completo de dados observados, em vez disso, a interpolação é realizada em subconjuntos com polinômios de ordem inferior, normalmente ordem 3, o *spline* cúbico (MAZZINI, 2009).

- Triangulação com interpolação linear

Tipo de triangulação que utiliza a triangulação de Delaunay (SOUZA et al., 2011), a qual, forma uma malha irregular de triângulos interligados cujos vértices são os pontos amostrais (MAZZINI, 2009). Nessa interpolação são produzidos triângulos equiláteros, sendo este um interpolador exato (MAZZINI, 2009).

- Krigagem

Esse método utiliza de geoestatística para determinar as variáveis estimadas (SOUZA et al., 2011). A krigagem se assemelha ao método IDW, tendo como diferença a determinação dos pesos dos pontos observados, que é realizada a partir de uma análise espacial com base no semivariograma (SOUZA et al., 2011). O

interpolador de krigagem é linear e capaz de estimar as variáveis interpoladas a partir do estabelecimento do peso de krigagem (λ) (VIOLA et al., 2010), dado por:

$$Pest_p = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times Pobs_i \quad (10)$$

Existe uma variação da krigagem, chamada de cokrigagem em que é inserida uma segunda variável observada, a fim de refinar a estimativa (VIOLA et al., 2010). No caso de interpolação de variável pluviométrica, por exemplo, essa segunda variáveis utilizada na interpolação pode ser a altitude.

Com base nos trabalhos de Souza et al. (2011), Viola et al. (2010) e Gardiman et al. (2012), para variáveis climáticas, em especial aquelas relacionadas a pluviometria, os métodos de Krigagem e Cokrigagem são os mais indicados, por apresentarem os menores erros quadráticos médios, dentre outras validações através de coeficiente de determinação (r^2), por exemplo. Contudo, logo em seguida, tem-se o método do inverso ponderado da distância (IDW), mais simples e comumente utilizado.

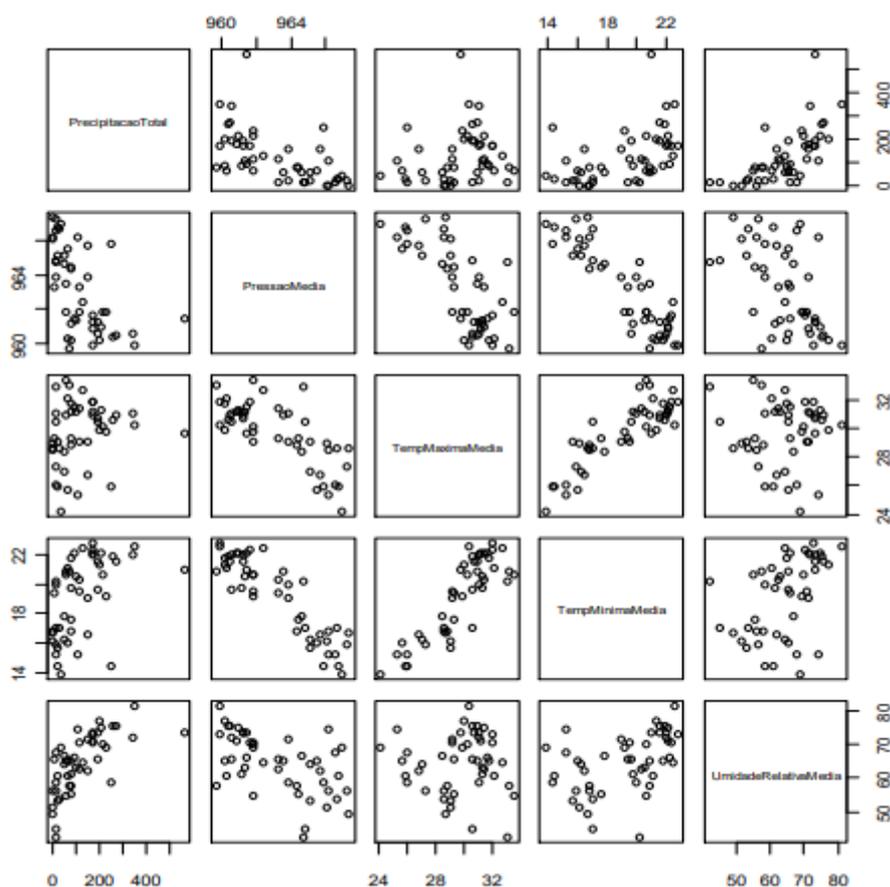
2.4 Métodos de análise de correlação

Para análise do relacionamento entre variáveis são amplamente adotados métodos estatísticos de correlação (LIRA, 2004). Através da análise de correlação é possível, portanto, mensurar a intensidade e direção de uma relação linear ou não-linear entre variáveis estudadas, sem, contudo, ser necessário o ajuste de uma função matemática (LIRA, 2004).

As variáveis podem se correlacionar de diferentes formas, desde correlações simples envolvendo duas variáveis, X e Y, por exemplo, a correlações multivariadas envolvendo conjuntos de variáveis, X_i , $i = 1,2,3,\dots$, e Y_j , $j = 1,2,3,\dots$, por exemplo (LIRA, 2004). Além disso a relação entre duas variáveis, ou conjuntos de variáveis, poderá assumir diferentes formas, podendo ser lineares ou não lineares (LIRA, 2004). A relação será linear quando o valor de uma variável puder ser estimado através da equação de uma reta.

Os diagramas de dispersão são um modo simples e visual de avaliar o tipo de correlação existente entre duas variáveis observadas (LIRA, 2004). Alguns exemplos de diagramas de dispersão podem ser verificados na Figura 13 a seguir. Nessa figura nota-se que variáveis ambientais distintas apresentadas por Silvestre (2012) podem apresentar relacionamentos diversos, podendo ser lineares, ou não.

Figura 13: Diagramas de dispersão para pares de variáveis climáticas.



Fonte: Silvestre (2012).

Uma relevante observação a se fazer é que o coeficiente de correlação, independentemente do tipo de análise realizada, não indicará necessariamente uma relação de causa-efeito. Isto é, a correlação por si só não comprova que uma variável é dependente da outra, uma vez que podem existir outras variáveis que não estejam em análise e que influenciam no estudo, conhecidas como variáveis de “confundimento” (MARTINS, 2014).

A seguir serão apresentados exemplos de métodos paramétrico e não paramétrico utilizados para a Análise de Correlação, os quais tem como produto um número que indicará como as variáveis variam conjuntamente.

- Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (Método Paramétrico)

O Coeficiente de Correlação Linear de Pearson é um método usualmente conhecido para determinar a relação linear entre variáveis. Esse método também é denominado de Coeficiente de Correlação do Momento Produto (LIRA, 2004).

Esse coeficiente é muito comumente utilizado, sendo o mais conhecido. Entretanto, cumpre destacar que por muitas vezes o seu uso é feito discricionariamente, sem que haja o discernimento de que se trata de um coeficiente para mensuração de uma relação linear entre duas variáveis (SILVESTRE, 2012).

O coeficiente de correlação populacional de Pearson ρ é definido, para duas variáveis X e Y, como apresentado a seguir:

$$\rho_{X,Y} = \rho = \frac{COV(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sigma_{X,Y}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (11)$$

Por se tratar de um coeficiente desconhecido, é possível estimar ρ por meio de um coeficiente amostral, denominado r . O coeficiente amostral r é calculado por meio de uma amostra extraída de uma população bidimensional (SILVESTRE, 2012).

Conforme formulação apresentada em Lira (2004), a denominação alternativa “Coeficiente de Correlação do Momento Produto” pode ser justificada por esse coeficiente ser “calculado multiplicando-se os escores Z de duas variáveis (produto de duas variáveis) e então calcula-se a média (momento) do produto de um grupo de n observações.”. A multiplicação mencionada e fórmula de r pode ser verificada a seguir, sendo n o tamanho da amostra adotada para inferir a correlação da população X e Y:

$$r = \hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{X_i} Z_{Y_i}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{\hat{\sigma}_X} \right) \left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{\hat{\sigma}_Y} \right)}{n} \quad (12)$$

O somatório expresso na equação acima envolve o produto dos desvios de cada valor da amostra em relação às suas médias (SARMENTO, 2021). Conforme analisa Sarmento (2021), ao interpretar essa formulação, o somatório será positivo e elevado caso haja tendência de os valores de X e Y estarem concomitantemente acima ou abaixo de suas respectivas médias. Por outro lado, caso X e Y estejam em lados opostos de suas respectivas médias, o valor resultante será negativo.

O Coeficiente de Correlação Linear de Pearson assume, portanto, valores entre -1 e 1 (MARTINS, 2014). Quanto maior o valor modular de r , maior será o grau de relação linear entre as variáveis estudadas, sendo (i) o r positivo, indicativo de uma relação linear positiva entre as variáveis, ou seja, seus valores aumentam e decrescem em fase; ou (ii) o r negativo, indicativo de uma relação linear negativa em que, caso uma variável aumente, existirá a tendência de redução da outra variável.

Nada obstante, o valor de r assume diferentes valores e a interpretação desses resultados tem forte correlação com a finalidade do seu uso e com as dimensões da amostra avaliada. Em Lira (2004), são trazidos os patamares de r e a avaliação qualitativa associada a eles:

- Se $0,00 < |r| < 0,30$, existe fraca correlação linear;
- Se $0,30 \leq |r| < 0,60$, existe moderada correlação linear;
- Se $0,60 \leq |r| < 0,90$, existe forte correlação linear; e
- Se $0,90 \leq |r| < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

O r também pode ser apresentado na forma r^2 , denominado Coeficiente de Determinação ou Coeficiente de Explicação e, ao ser multiplicado por 100, resulta

em um percentual que mensura a porcentagem de variação em Y que pode ser explicada pela variação da variável X (LIRA, 2004).

Cumprir destacar que, o coeficiente de correlação está sujeito a existência de valores extremos e estranhos, conhecidos como *outliers*, os quais podem enviesar as análises de correlação (MARTINS, 2014). Uma boa prática mencionada em Silvestre (2012) é de representar graficamente as variáveis em análise, ou seja, através de um diagrama de dispersão, com o intuito de verificar *outliers* e buscar as razões dessas discrepâncias.

Destaca-se ainda que, por se tratar de um método paramétrico, faz-se necessário verificar o atendimento a algumas suposições do modelo por meio de uma análise exploratória de dados (LIRA, 2004). Assim, uma vez que sejam satisfeitas razoavelmente tais suposições, é possível avaliar de maneira mais criteriosa e precisa os coeficientes obtidos.

Para o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, devem ser satisfeitas as seguintes suposições (LIRA, 2004) (SILVESTRE, 2012):

- O relacionamento entre as duas variáveis é linear;
- As variáveis envolvidas são aleatórias e medidas minimamente em escala intervalar, ou seja, as unidades de observação estão em ordem e é possível quantificar a diferença entre elas;
- As duas variáveis têm distribuição normal bivariada conjunta, ou seja, para cada X dado, a variável Y é normalmente distribuída. Tal suposição é indispensável para o caso de amostras pequenas e tem sua imprescindibilidade reduzida com o aumento da amostra.

Caso essas suposições não sejam atendidas, para que se tenha resultados os mais fidedignos possíveis com a correlação populacional, podem ser empregados procedimentos como a utilização de métodos não paramétricos ou a transformação das variáveis de análise (LIRA, 2004). Nos casos práticos,

principalmente a suposição de normalidade bivariada não é atendida, sendo necessária a transformação das variáveis, usualmente transformações logatítmicas, recíprocas e angulares.

- Coeficiente de correlação de Spearman (Método não-Paramétrico)

Conforme citado nesse texto, para os casos em que não é possível atender às suposições mínimas necessárias para aplicação de um método paramétrico, como a assunção de que há distribuição conhecida e certos parâmetros desconhecidos (média, desvio padrão, etc) (DIAS et al., 2020), uma das opções é adotar um método não paramétrico de inferência estatística.

Isso posto, o Teste de Spearman se mostra uma alternativa útil para esses casos. O Coeficiente de Spearman é a estatística mais antiga baseada em postos (DIAS et al., 2020), ou seja, em variáveis ordinais, e se aplica para os casos em que as variáveis não possuem distribuição conjunta normal bivariada.

Conforme descrito em Silvestre (2012) e Dias et al. (2020), esse teste é baseado em postos de cada uma das variáveis X e Y ordenadas individualmente. Dessa forma, $R(X_i)$ é a ordem, ou posto, da variável X_i , “rankeada” em ordem crescente, sendo o menor valor ocupante do posto 1 e assim sucessivamente até o posto n . O mesmo se aplica à variável Y_i . Ordenadas as variáveis para as quais se pretende definir o coeficiente de correlação, o Teste de Correlação de Spearman é definido a seguir:

Equação 4: Coeficiente de correlação de Spearman.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n [R(X_i) - R(Y_i)]^2}{n(n^2 - 1)} \quad (13)$$

Ao interpretar os resultados do Teste de Spearman, é válido esclarecer que as correlações entre variáveis ordinais não seguem a mesma linha que as correlações de Pearson. O coeficiente de correlação obtido no Teste de Correlação de Spearman não demonstra imperiosamente uma tendência linear, sendo esse um

teste adequado para testar a existência de uma relação não-linear (SILVESTRE, 2012). Todavia, é possível verificar através desse coeficiente identificar a monotonicidade das variáveis, que indica, em outras palavras, que aumentos de X resultam em aumentos em Y e o mesmo para reduções (LIRA, 2004).

3 METODOLOGIA

Nesta seção, será apresentada a classificação da metodologia utilizada na pesquisa e descrita uma síntese dos procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento desta dissertação.

3.1 Metodologia da pesquisa

Relembrando, neste trabalho foi avaliado a correlação entre variáveis climáticas e os indicadores de continuidade de modo a melhor compreender o seu relacionamento. Dessa maneira, objetiva-se subsidiar o setor elétrico brasileiro nas discussões setoriais acerca do aperfeiçoamento de metodologias para definição dos limites regulatórios de continuidade do fornecimento de energia, da revisão dos incentivos regulatórios, penalidades e compensações relativos à continuidade, e na elaboração de métodos que aumentem a resiliência do sistema de distribuição de energia com base na análise e previsões das variáveis climáticas.

Com essa finalidade, foi adotado o método científico estatístico para desenvolvimento deste trabalho. Assim, buscou-se aplicar ferramentas estatísticas, qual seja, coeficiente de correlação, para investigar o relacionamento entre os indicadores de continuidade do fornecimento de energia elétrica e um determinado grupo de variáveis climáticas como temperatura, velocidade de ventos e volume de precipitações.

Os dados disponíveis em bases abertas foram coletados, organizados, transformados e analisados, a priori por meio da Análise Exploratória de Dados (AED), com o intuito de examinar os dados previamente à aplicação da análise estatística de correlação entre eles. Conforme abordado na FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA, a análise exploratória é uma etapa fundamental para melhor definição do método estatístico a ser empregado para análise da correlação, além de permitir a identificação da necessidade de tratamentos adicionais, como a retirada de *outliers*, por exemplo.

Isso posto, os resultados obtidos serão avaliados sob uma abordagem quantitativa, com apresentação do coeficiente de correlação resultante dos diversos cenários escolhidos. A pesquisa

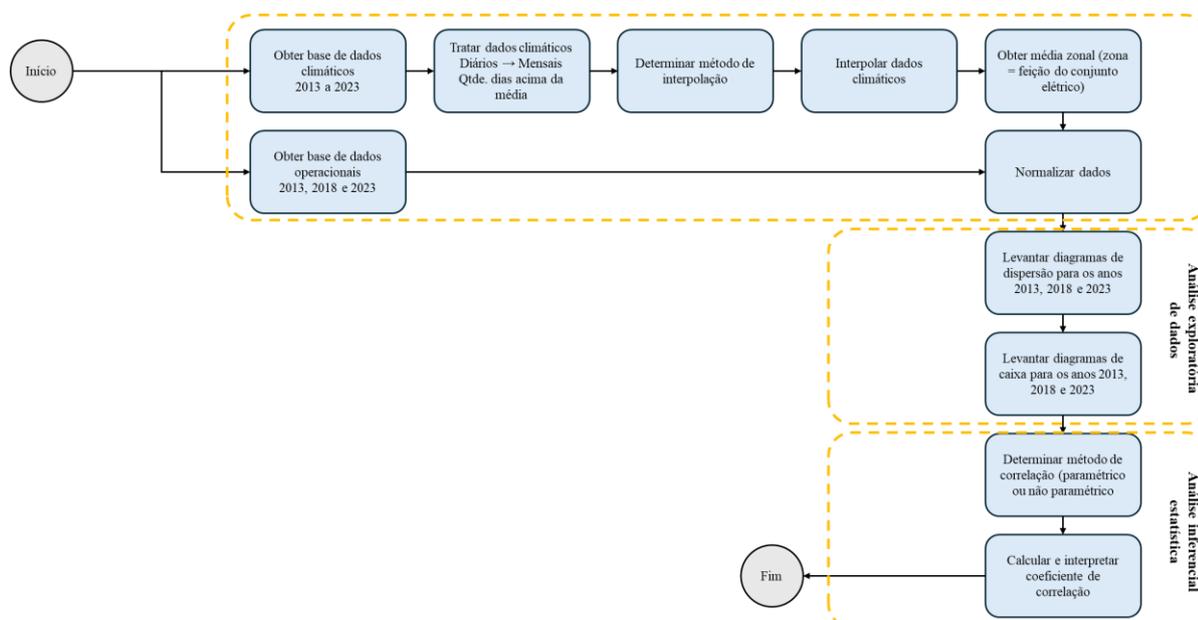
quantitativa se aplica ao problema apresentado nessa dissertação, pois se busca compreender os fenômenos atinentes à interação clima *versus* fornecimento de energia a partir da tradução de dados e coeficientes estatísticos, ou seja, a análise e conclusões são realizadas a partir da quantificação destes dados.

Por fim, a pesquisa de natureza aplicada aqui detalhada busca produzir conhecimentos acerca da relação entre clima e continuidade do serviço de distribuição de energia, de modo que possam ser efetivamente aplicados seja nas melhorias regulatórias associadas ao tema, seja na implementação de preditores de ocorrências emergenciais no sistema de distribuição. Seus objetivos de viés exploratórios procuram enriquecer de informações o debate sobre resiliência das redes de distribuição, os quais, serão alcançados seguindo o procedimento descrito a seguir.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Uma vez definida a metodologia de pesquisa, adotou-se as seguintes etapas para atingimento dos objetivos delimitados nesta dissertação (Figura 14), as quais serão detalhadas a seguir.

Figura 14: Fluxograma das etapas metodológicas do trabalho.



Fonte: Elaboração própria.

3.2.1 Levantamento de dados

Levantamento de dados climáticos

Conforme abordado na INTRODUÇÃO desse texto, propõe-se o levantamento de dados meteorológicos e operacionais a fim de confrontá-los em busca da verificação da hipótese de que são correlacionados. Com esse intuito, buscou-se fontes confiáveis de dados, com acesso por meio de dados abertos para otimização do tempo de execução da etapa de levantamento.

Para os dados meteorológicos utilizou-se como fonte o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), mais especificamente os dados disponíveis diários de 566 estações meteorológicas automática no período de 2013 a 2023. Os dados foram obtidos através de solicitação direta ao INMET por meio de sua página eletrônica. Fez-se necessário dessa forma pois nos dados abertos disponíveis diretamente para *download* na página eletrônica do Instituto encontram-se informações horárias, cuja massa de informações não se aplica ao que se propõe esse trabalho. Assim sendo, foi feita solicitação das informações consolidadas diárias, as quais foram prontamente enviadas por meio de correio eletrônico.

Logo, foram recebidos arquivos em formato .csv para cada uma das estações meteorológicas automáticas do INMET, com informações diárias de (Tabela 4):

Tabela 4: Dados meteorológicos INMET.

Variável meteorológica	Unidade
Precipitação total	mm
Pressão atmosférica média	mb
Temperatura máxima	° C
Temperatura média	° C

Temperatura mínima	° C
Unidade relativa do ar média	%
Vento, rajada máxima	m/s
Vento, velocidade média	m/s

Fonte: Elaboração própria.

Parte dos dados foram utilizados nessa análise, sendo alguns deles transformados para obtenção de outras informações, principalmente para verificar os extremos climáticos que são foco desse trabalho. As transformações dos dados climáticos serão detalhadas a seguir.

Transformação de dados climáticos

Uma vez obtidos os dados meteorológicos diários, as informações precisaram ser convertidas de diárias para mensais, para fins dessa análise. Assim, para cada tipo de variável climática foi realizado tratamento específico, com o intuito de trazê-las para uma base mensal, as quais se encontram descritas na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5: Conversão de dados meteorológicos diários para mensais.

Variável meteorológica	Conversão diário para mensal
Precipitação total	Soma dos dados diários.
Temperatura máxima	Máxima temperatura verificada no mês.
Temperatura média	Média das temperaturas médias diárias

	(excluindo os apontamentos do tipo <i>null</i>).
Vento, rajada máxima	Velocidade máxima de rajada de vento verificada no mês.
Vento, velocidade média	Média das velocidades médias diárias (excluindo os apontamentos do tipo <i>null</i>).

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que parte das variáveis climáticas apresentadas na Tabela 4 não constam na Tabela 5. Tal fato se justifica pois para o presente trabalho delimitou-se a análise de correlação para variáveis associadas a precipitações pluviométricas, temperatura e rajadas de ventos. Além das variáveis acima expostas, e a partir delas, foram calculadas as seguintes variáveis (Tabela 6), também em base mensal de análise.

Tabela 6: Demais variáveis meteorológicas.

Variável meteorológica	Forma de cálculo
Precipitação máxima diária no mês	Maior volume diário de precipitação no mês.
Quantidade de dias com precipitação acima da média	Contagem dos dias com volume de precipitação acima da média diária verificada no intervalo de 11 anos (2013 a 2023).
Quantidade de dias com temperatura acima da média	Contagem dos dias com temperatura média acima da média diária verificada no intervalo de 11 anos (2013 a 2023).

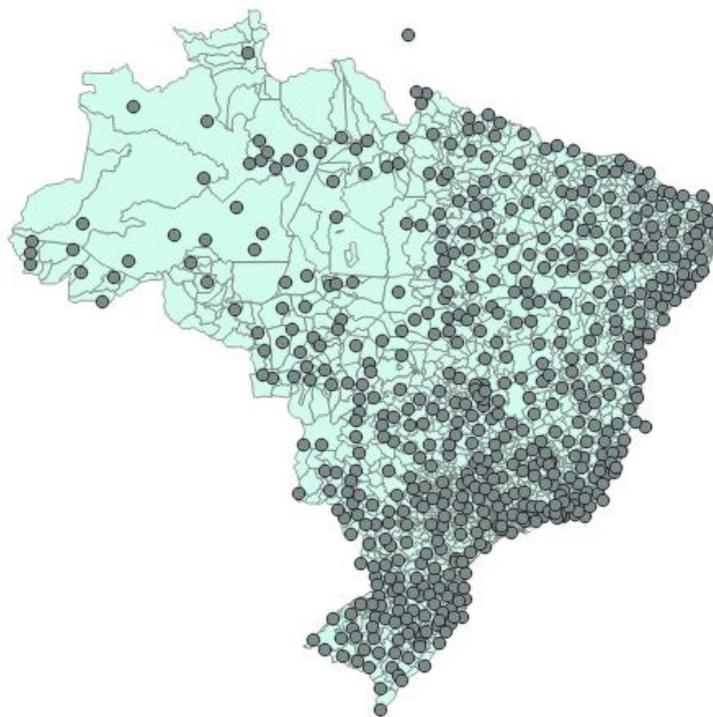
Quantidade de dias com velocidade de vento acima da média	Contagem dos dias com rajada de vento média acima da média diária verificada no intervalo de 11 anos (2013 a 2023).
---	---

Fonte: Elaboração própria.

Assim, foram obtidas 9 variáveis climáticas, em base mensal no intervalo de 2013 a 2023 para cada uma das 566 estações meteorológicas automáticas, sobre as quais serão realizadas as análises exploratórias e estatísticas propostas na metodologia dessa dissertação.

Cumprе lembrar que se busca avaliar as informações, climáticas e operacionais, a nível de conjunto elétrico. Observa-se, entretanto, que os dados climáticos estão associados às estações meteorológicas e, portanto, estão dispersos de forma que a análise direta para cada conjunto elétrico não é possível, uma vez que nem todo conjunto possui uma estação meteorológica, conforme pode ser verificado na Figura 15, que apresenta as cerca de 600 estações meteorológicas automáticas do INMET e sua distribuição no território nacional.

Figura 15: Mapa estações meteorológicas *versus* conjuntos elétricos.



Fonte: Elaboração própria no software QGIS 3.36.1.

Conforme abordado na FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA há diversos métodos de interpolação disponíveis, sendo o método de Krigagem apontado, de acordo com a pesquisa realizada nesse trabalho, como o método mais preciso para interpolação de variáveis climáticas. Todavia, em segundo lugar consta o método de interpolação Inverso Ponderado da Distância (IDW), o qual apresenta um bom desempenho, tendo como vantagem a sua simplicidade.

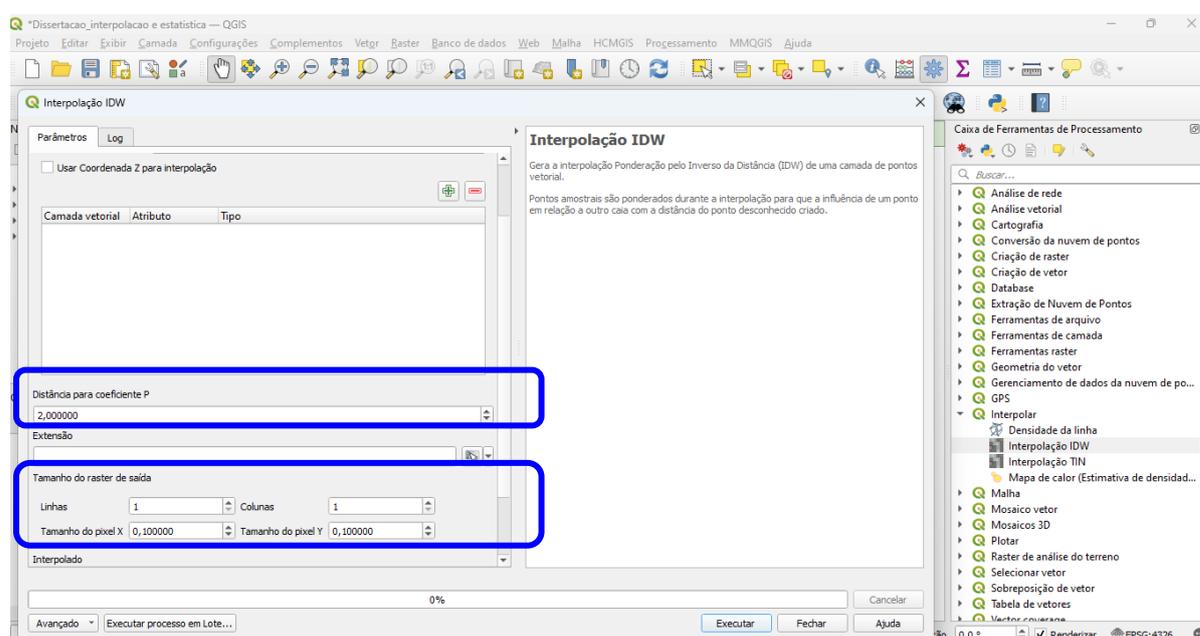
Diante do exposto, optou-se por adotar o método de interpolação IDW com o objetivo de “cobrir” toda a superfície dos conjuntos de unidades consumidoras com informações climáticas a partir daquelas levantadas para cada uma das 566 estações meteorológicas automáticas cujos dados foram disponibilizados pelo INMET.

Para tanto, utilizou-se a ferramenta “Interpolação IDW” do software QGIS 3.36.1, a qual permite a parametrização do coeficiente variável “ p ” ou “ ρ ”, fator peso, o qual denota a influência da distância no cálculo da interpolação ponderada. Por *default*, conforme tela do QGIS na Figura 16, adota-se o fator peso 2. Para esse caso, adotou-se o fator peso de 10, para que fosse

penalizado o efeito de estações meteorológicas mais distantes e priorizadas as medidas das estações mais próximas.

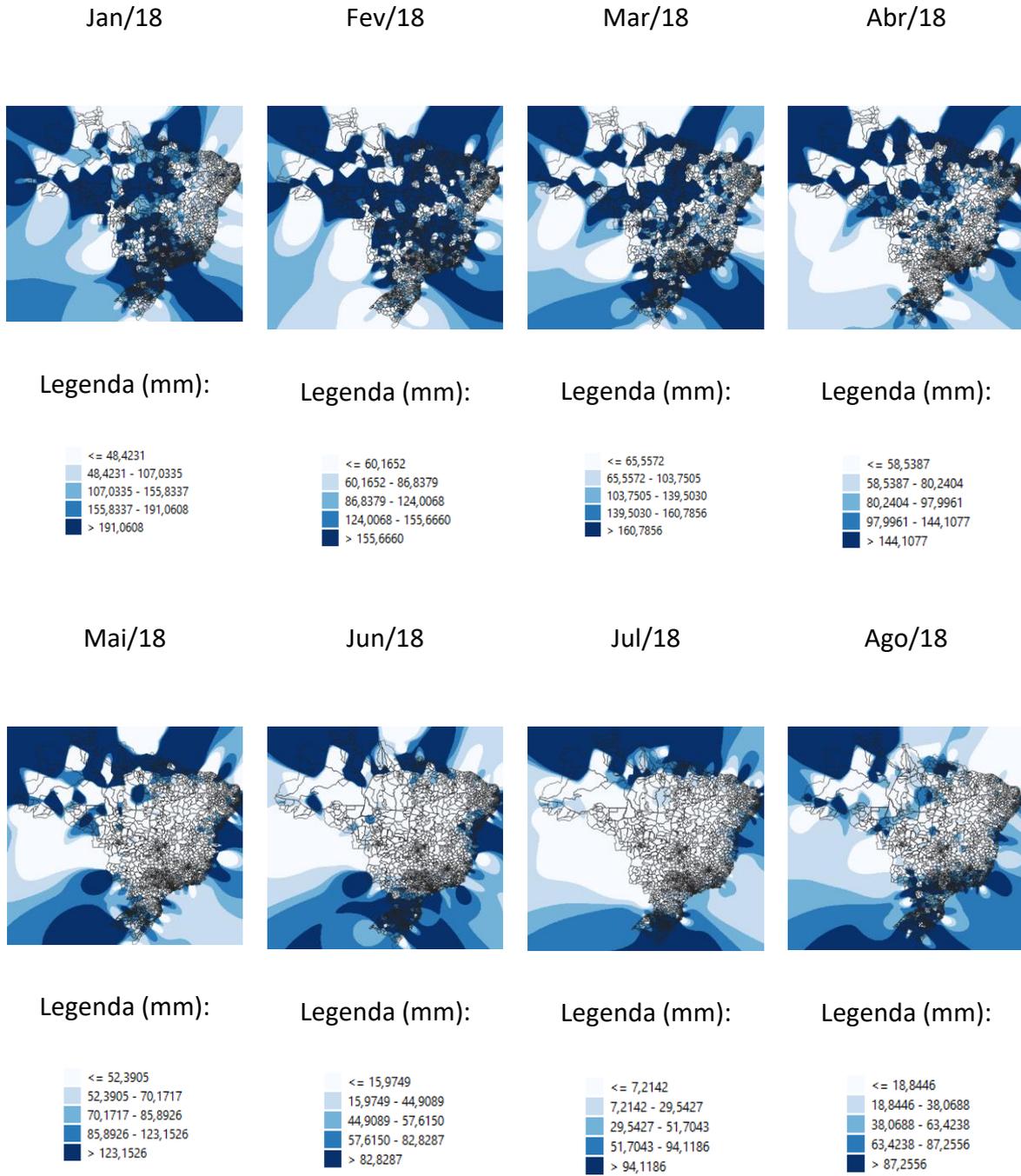
Além disso o software também permite que seja parametrizado o tamanho do pixel (eixo “x” e eixo “y”). Para esse trabalho, escolheu-se o pixel de tamanho 0,05, de modo a aumentar a resolução da área interpolada, sem, contudo, exigir demasiadamente do processamento de dados.

Figura 16: Tela interpolação IDW no QGIS.



O processo foi feito para a informação mensal de três anos (2013, 2018 e 2023) para cada uma das 9 variáveis selecionadas e/ou calculadas. Dessa maneira, foram gerados 324 mapas interpolados, tendo sido aplicado o processamento em lotes para otimização do processo. Na Figura 17 a seguir, estão exemplificados os doze meses do ano de 2018 para a variável climática Precipitação total. Na Figura 18, estão exemplificados os doze meses do ano de 2013 para a variável climática Temperatura média.

Figura 17: Interpolação da precipitação total de 2018.

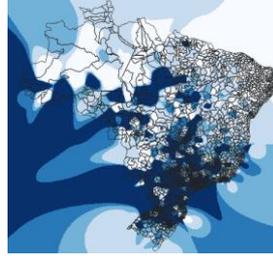


Set/18

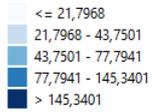
Out/18

Nov/18

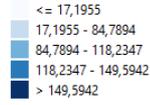
Dez/18



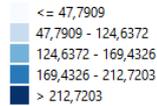
Legenda (mm):



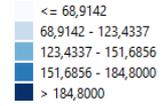
Legenda (mm):



Legenda (mm):



Legenda (mm):



Fonte: Elaboração própria no software QGIS 3.36.1.

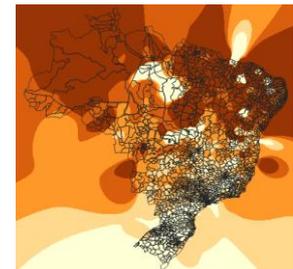
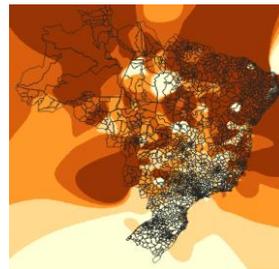
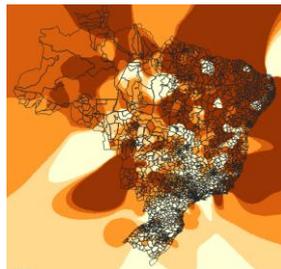
Figura 18: Interpolação da temperatura média de 2013.

Jan/13

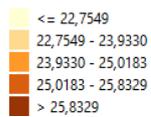
Fev/13

Mar/13

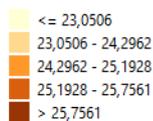
Abr/13



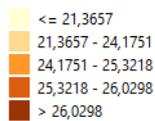
Legenda (° C):



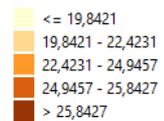
Legenda (° C):

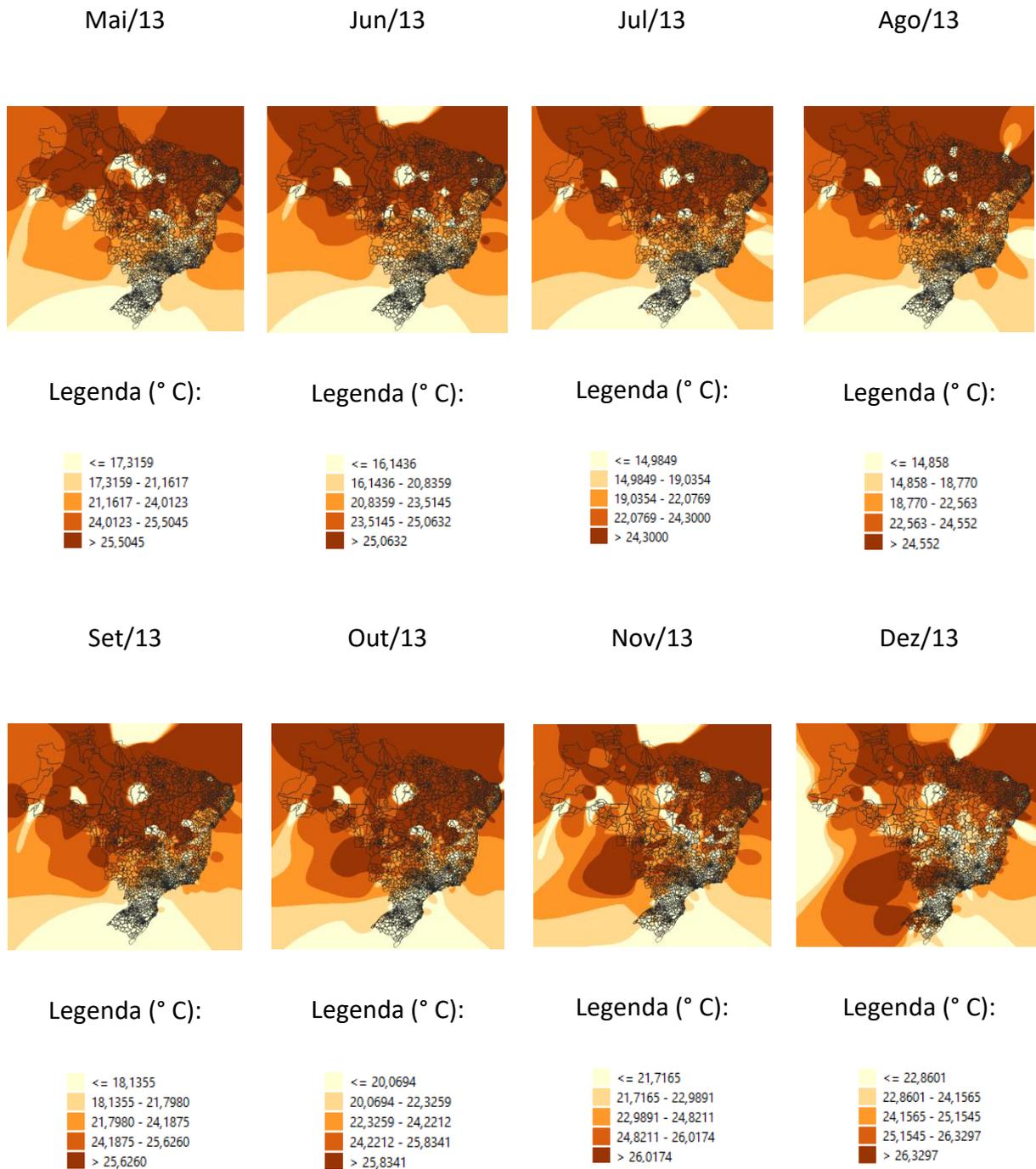


Legenda (° C):



Legenda (° C):





Fonte: Elaboração própria no software QGIS 3.36.1.

Para gerar as imagens concatenadas na Figura 17 e na Figura 18 aplicou-se a renderização por “Banda simples falsa-cor”, a fim de conferir escala de cores que guarde correlação com a variável climática estudada. Nesse caso, para a Figura 17, quanto mais escuro o tom de azul, maior o volume de precipitação verificado em mm e, para a Figura 18, quanto mais escuro o tom de

laranja, maior a temperatura média em °C. Além disso, adotou-se a interpolação por método discreto, ajustes esses também realizados no software QGIS.

Esclarece-se que a escolha dos três anos supramencionados teve por objetivo avaliar a correlação das variáveis climáticas com o DEC e o FEC (totais e coletivos) no início e fim da série avaliada, 2013 e 2023 respectivamente, além de uma medida intermediária e pré-pandêmica, 2018.

Em posse das 324 áreas interpoladas (9 variáveis climáticas, para cada um dos 12 meses dos 3 anos avaliados), buscou-se uma forma de determinar um valor único para cada variável em cada mês analisado para os mais de 3 mil conjuntos elétricos verificados. Para tanto, levantou-se as feições dos conjuntos elétricos, obtidas em formato .kmz para a referência 31/12/2020, no Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL) da ANEEL (Figura 19).

Apesar da informação não ser a mais recente, a alteração da quantidade de conjuntos entre os anos 2020 e 2023 pode ser considerada irrelevante, não causando prejuízos à proposta desse trabalho. Sendo assim, dadas as variações dos conjuntos existentes em 2020, com a alteração de suas codificações para alguns casos, a análise apresentada abrangeu 2880 conjuntos elétricos distribuídos em todas as regiões do Brasil.

Figura 19: Feições dos conjuntos elétricos na referência 31/12/2020.



Fonte: Elaboração própria no software QGIS 3.36.1.

Finalmente, em posse das feições dos conjuntos elétricos e da espacialização das variáveis climáticas por meio da interpolação IDW, obteve-se o valor único para cada conjuntos utilizando a ferramenta do QGIS intitulada “Estatísticas zonais” parte do pacote de Análise de dados Raster.

O raster é um formato de imagem em que para cada pixel há informações associadas, no caso, dados climáticos para cada pixel de tamanho 0,5 por 0,5. A estatística zonal permite que sejam calculadas estatísticas, como médias, mediana, desvio padrão e outras, considerando os valores de cada pixel de uma zona.

Desse modo, cada conjunto elétrico correspondeu a uma zona, para a qual foi calculada a média dos valores atribuídos a cada um de seus pixels pelo método de interpolação IDW, alcançando assim um valor único por conjunto de unidades consumidoras em cada um dos meses avaliados de cada uma das 9 variáveis climáticas escolhidas para essa análise. Esses valores corresponderão às variáveis a serem adotadas no método de determinação do coeficiente de correlação, o qual será descrito nesse texto.

Para fins de esquematização das informações adotou-se as seguintes siglas para cada variável (Tabela 7):

Tabela 7: Variáveis climáticas e índices.

Variável	ID
Precipitação total (mm)	1
Precipitação máxima diária no mês (mm)	2
Quantidade de dias com precipitação acima da média	3
Temperatura máxima (° C)	4
Temperatura média (° C)	5
Quantidade de dias com temperatura acima da média	6
Vento, rajada máxima (m/s)	7
Vento, velocidade média (m/s)	8
Quantidade de dias com velocidade de vento acima da média	9

Fonte: Elaboração própria.

Levantamento de dados de continuidade do fornecimento de energia

Para correlacionar as variáveis climáticas obtidas conforme metodologia detalhada na subseção anterior, faz-se necessário levantar os dados de continuidade mensais para os anos em estudo, 2013, 2018 e 2023. Tais informações estão disponíveis na página da ANEEL nos dados abertos dos indicadores coletivos de continuidade (DEC e FEC).

As bases obtidas apresentam, para cada mês de cada conjunto elétrico todas as componentes do DEC e FEC (detalhadas na FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA) e o número de unidades consumidoras daquele período. Segue na Figura 20 exemplo da estrutura dos dados. Nota-se que, para cada linha, há uma componente do DEC ou do FEC para determinado conjunto de unidades consumidoras em um mês. As componentes dos indicadores de continuidade foram apresentadas nesse texto e se encontram resumidas na Tabela 2.

Figura 20: Estrutura dos dados de continuidade.

The screenshot shows a web interface for a dataset. The URL is dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/indicadores-coletivos-de-continuidade-dec-e-fec/resource/4493985c-baea-429c-9df5-303042c71d7. The table displays 228 records with the following columns: **_id**, **DatGera...**, **SigAgente**, **NumCNPJ**, **IdeConj...**, **DscConj...**, **SigIndic...**, **AnoIndice**, **NumPer...**, and **Virindic...**. The filters sidebar on the right includes 'IdeConjUndConsumidoras' with a value of 14700 and 'AnoIndice' with a value of 2023.

_id	DatGera...	SigAgente	NumCNPJ	IdeConj...	DscConj...	SigIndic...	AnoIndice	NumPer...	Virindic...
3098155	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	FECXP	2023	1	.00
2957744	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	FECIND	2023	1	.27
3071968	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	DEC	2023	1	1,26
3087258	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	DECINO	2023	1	.00
2865836	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	FECINO	2023	1	.00
2846063	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	DECIP	2023	1	.35
3092644	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	FECINE	2023	1	.00
3042111	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	DECXN	2023	1	.00
2852389	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	DECINE	2023	1	.01
2925666	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	DECIND	2023	1	.91
2992544	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	FEC	2023	1	.36
3018688	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	FECIP	2023	1	.09
3090298	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	DECXP	2023	1	.00
2886190	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	FECIPC	2023	1	.00
3062653	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	FECXN	2023	1	.00
2806905	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	DECIPC	2023	1	.00
2974686	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	NumCon	2023	1	44868,00
3140105	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	FECINC	2023	1	.00
3079916	2024-04-...	Equatori...	0627279...	14700	ACAILA...	DECINC	2023	1	.00

Fonte: ANEEL (2024b).

Com base nessas informações foram obtidos e calculados os indicadores coletivos e totais para cada conjunto elétrico. Os indicadores DEC e FEC coletivos correspondem, para cada mês e conjunto, aos números diretamente obtidos na base de dados, nas linhas de sigla DEC e FEC. Os indicadores totais, por sua vez, correspondem aos indicadores coletivos adicionados das parcelas expurgáveis listadas a seguir:

- DEC_{IPC}
- DEC_{INE}
- DEC_{INO}
- DEC_{XN}
- DEC_{XP}
- DEC_{INC}
- FEC_{IPC}
- FEC_{INE}
- FEC_{INO}
- FEC_{XN}
- FEC_{XP}
- FEC_{INC}

3.2.2 Análise exploratória dos dados

Em posse dos dados, parte-se para uma análise exploratória. A priori, avaliaram-se os diagramas de dispersão para cada um dos conjuntos de variáveis objetos da análise de correlação. Essa verificação teve o intuito de avaliar visualmente a presença de *outliers*, bem como para verificar se é possível inferir uma relação linear entre as variáveis estudadas. Dessa forma, buscou-se definir o melhor método de obtenção do coeficiente de correlação, conforme abordado na FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

Para o caso da análise proposta nessa dissertação e conforme consta em Lira (2004), dada a amostra ampla, cerca de 30 mil pares de variáveis para cada combinação por ano avaliado, não se faz imprescindível a análise da distribuição normal multivariada para aplicação do coeficiente de correlação de Pearson.

Portanto, para definição do método de correlação, paramétrico ou não-paramétrico, será realizada a verificação apenas a nível exploratório visual, com os diagramas de dispersão e gerados por meio do *software Microsoft Excel 365*.

Nessa etapa se utilizou também os gráficos do tipo *boxplot* para identificação de *outliers*, os quais podem influenciar nos resultados obtidos. Uma vez verificados os *outliers* foi realizada a Análise inferencial estatística dos dados detalhada na subseção a seguir. Os *boxplots* foram gerados com auxílio do *software R*.

3.2.3 Análise inferencial estatística dos dados

Uma vez determinado o método para cálculo do coeficiente de correlação conforme subseção anterior (Análise exploratória dos dados), partiu-se para o cálculo dos coeficientes de correlação, considerando os seguintes pares de variáveis (Tabela 8) para cada ano avaliado (2013, 2018 e 2023).

Tabela 8: Matriz de correlação climática x operacional.

Variável Operacional/ Climática	DEC Total	DEC Coletivo	FEC Total	FEC Coletivo
Precipitação total	x	x	x	x
Precipitação máxima	x	x	x	x
Quantidade de dias com precipitação acima da média	x	x	x	x
Temperatura máxima	x	x	x	x
Temperatura média	x	x	x	x
Quantidade de dias com temperatura acima da média	x	x	x	x
Vento, rajada máxima	x	x	x	x
Vento, velocidade média	x	x	x	x
Quantidade de dias com velocidade de vento acima da média	x	x	x	x

Fonte: Elaboração própria.

Importa destacar que a análise inferencial estatística busca utilizar os padrões verificados na amostra, cujo levantamento foi detalhado na subseção Levantamento de dados desta metodologia, de modo a inferir a correlação existente na população estudada.

Para tanto, uma vez definido o método de correlação a ser aplicado para análise de cada par de variáveis (climática e operacional), deverão ser excluídos os *outliers* identificados para que então sejam elaboradas as matrizes de correlação, que basicamente corresponderão à Tabela 8 preenchida com os coeficientes de correlação calculados e verificação do p-valor. Nessa dissertação, a elaboração das matrizes de correlação com o cálculo dos coeficientes de correlação e os p-valores será realizado no *software R*.

Em se tratando de uma análise estatística inferencial, ou seja, em que se busca descrever o comportamento de uma população através de uma amostra, o p-valor é necessário para que seja possível avaliar se é possível inferir que os coeficientes de correlação encontrados para a amostra podem ser generalizados para a população (FIGUEIREDO, 2009). Assim, assumindo-se um nível de significância de 5%, tem-se:

- P-valor $> 0,05$: H_0 é verdadeira, ou seja, o coeficiente de correlação populacional, ρ , é nulo.
- P-valor $\leq 0,05$: H_a é verdadeira, ou seja, o coeficiente de correlação populacional, ρ , é diferente de zero.

Uma vez calculados os coeficientes de correlação e validada a sua significância deverá ser avaliada a intensidade da correlação, caso significativo, e realizada a classificação, conforme descrito na FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA. Importante destacar, os valores obtidos ainda podem sofrer influência de outras variáveis, conhecidas como *lurking variables*.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados da análise exploratória de dados

Conforme detalhado no Capítulo METODOLOGIA, uma vez levantados os dados foram realizadas análises exploratórias visuais para verificação das suposições de linearidade para aplicação do método de correlação paramétrico de Pearson, através dos diagramas de dispersão.

Como resultado da avaliação visual da linearidade, foram gerados 36 diagramas de dispersão para cada ano verificado, quais sejam, 2013 (Figura 21 à Figura 56 com exemplos de distribuidoras específicas) e nos Anexos para todas as distribuidoras nos 3 anos de avaliação (2013, 2018 e 2023). Os diagramas correspondem a uma exibição gráfica, em coordenadas cartesianas, de duas variáveis. No caso desse texto, serão “combinadas” nesses gráficos variáveis climáticas (listadas na Tabela 7) e variáveis operacionais (DEC e FEC Coletivos e DEC e FEC Totais).

Cumprir destacar ainda que os valores dos dados foram todos normalizados, considerando o valor máximo presente na base por conjunto elétrico. Assim, tanto variáveis ambientais quanto operacionais apresentam variação entre 0 e 1. Por se tratar de um volume de dados elevado, optou-se por inserir exemplos de distribuidoras específicas nas figuras a seguir.

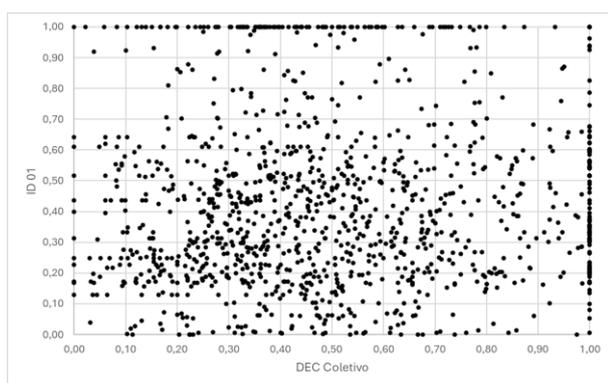


Figura 21: Diagrama de dispersão ID 01 x DEC Coletivo 2013 da COPEL_DIS.

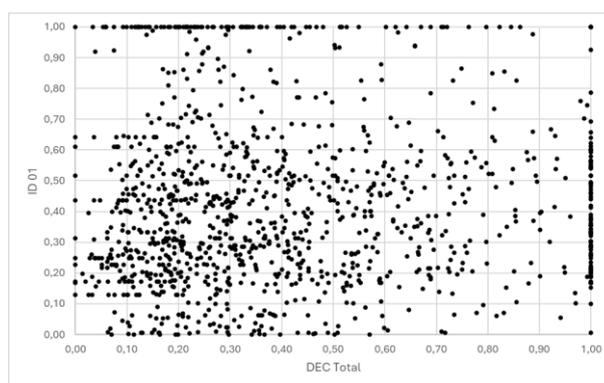


Figura 22: Diagrama de dispersão ID 01 x DEC Total 2013 da COPEL_DIS.

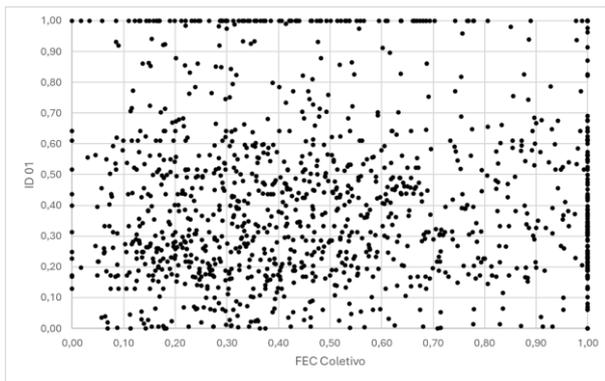


Figura 23: Diagrama de dispersão ID 01 x FEC Coletivo 2013 da COPEL_DIS.

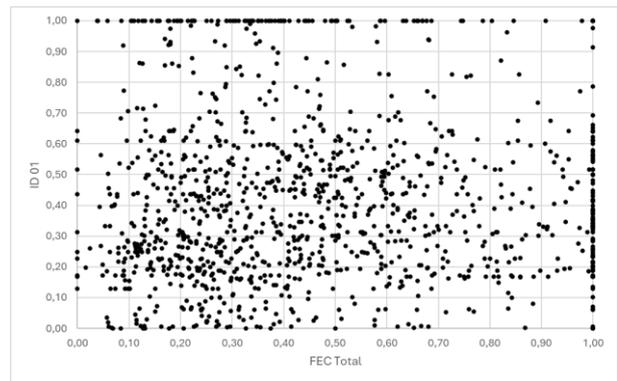


Figura 24: Diagrama de dispersão ID 01 x FEC Total 2013 da COPEL_DIS.

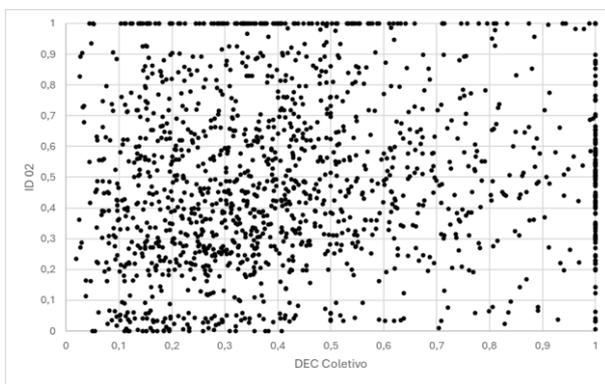


Figura 25: Diagrama de dispersão ID 02 x DEC Coletivo 2013 da ELEKTRO.

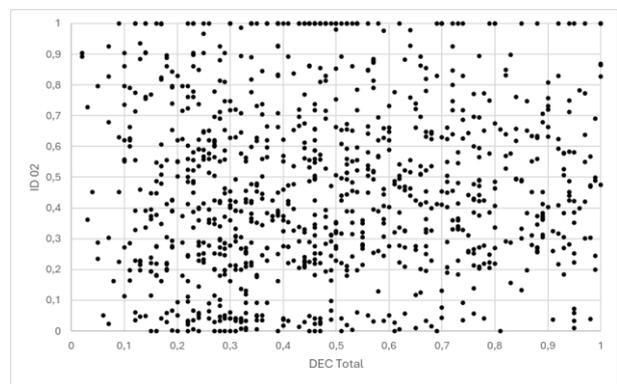


Figura 26: Diagrama de dispersão ID 02 x DEC Total 2013 da ELEKTRO.

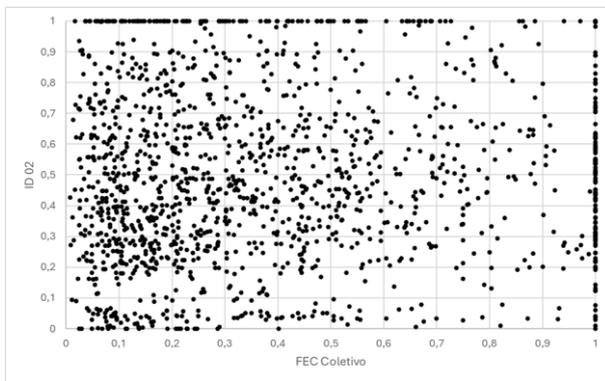


Figura 27: Diagrama de dispersão ID 02 x FEC Coletivo 2013 da ELEKTRO.

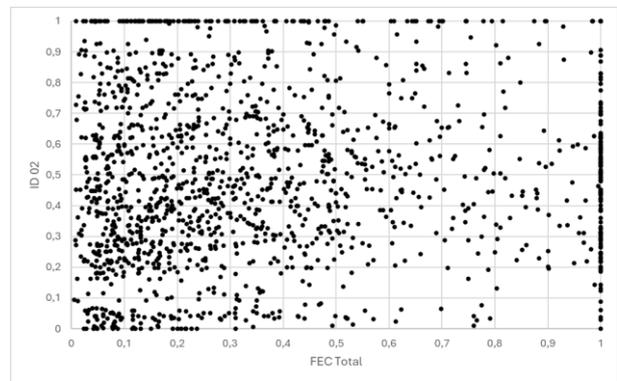


Figura 28: Diagrama de dispersão ID 02 x FEC Total 2013 da ELEKTRO.

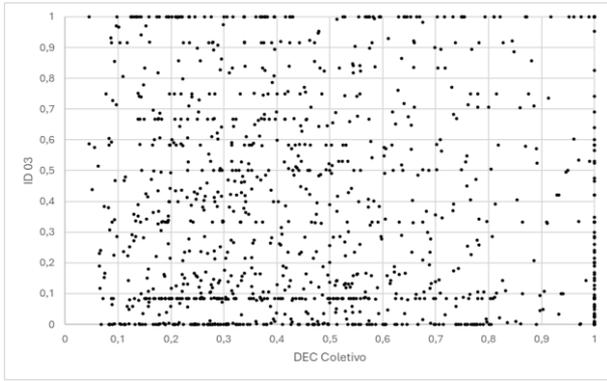


Figura 29: Diagrama de dispersão ID 03 x DEC Coletivo 2013 da Enel CE.

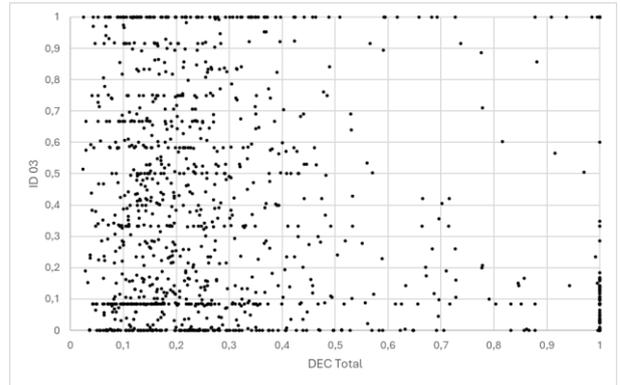


Figura 30: Diagrama de dispersão ID 03 x DEC Total 2013 da Enel CE.

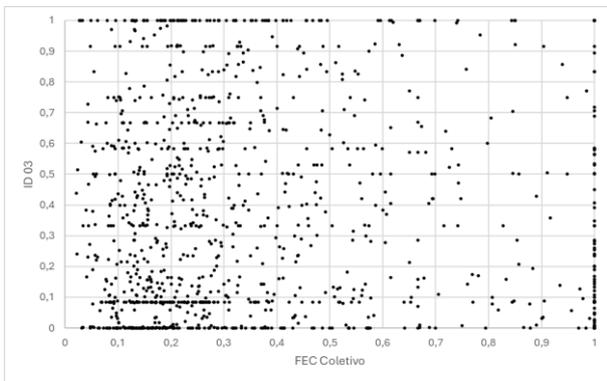


Figura 31: Diagrama de dispersão ID 03 x FEC Coletivo 2013 da Enel CE.

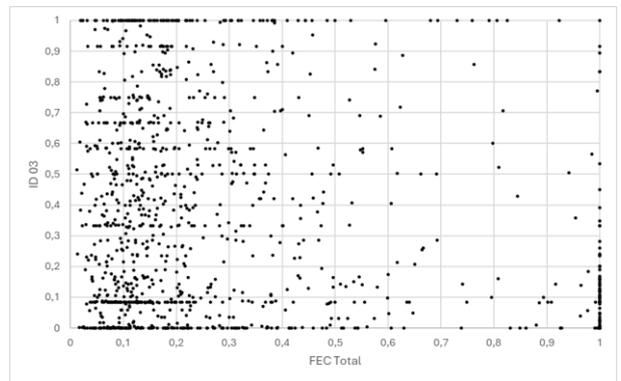


Figura 32: Diagrama de dispersão ID 03 x FEC Total 2013 da Enel CE.

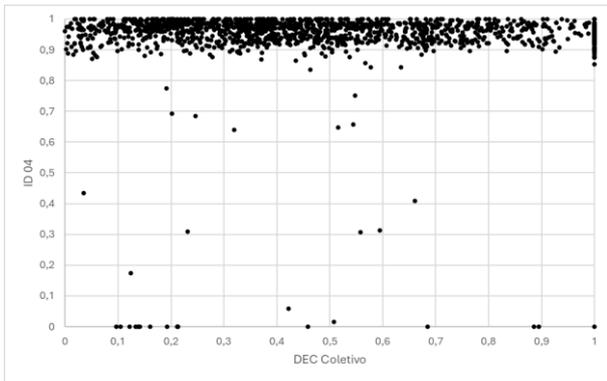


Figura 33: Diagrama de dispersão ID 04 x DEC Coletivo 2013 da Equatorial Pará.

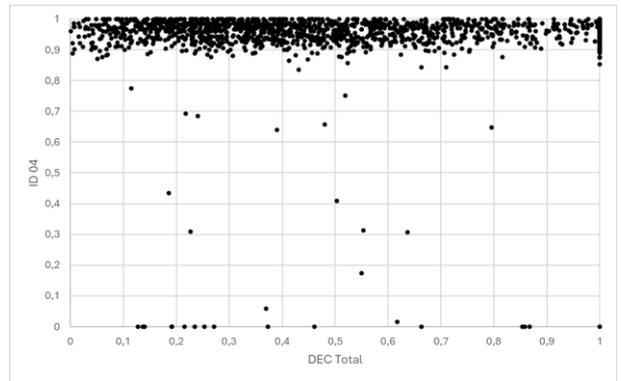


Figura 34: Diagrama de dispersão ID 04 x DEC Total 2013 da Equatorial Pará.

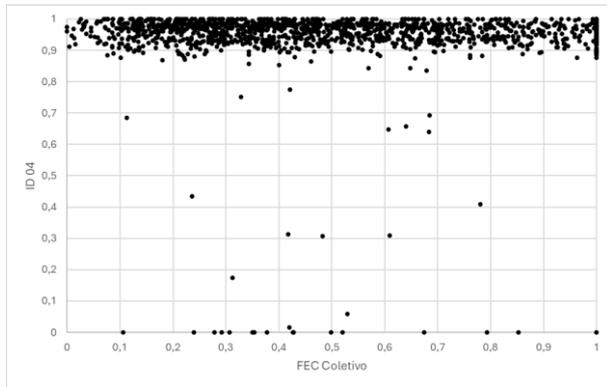


Figura 35: Diagrama de dispersão ID 04 x FEC Coletivo 2013 da Equatorial Pará.

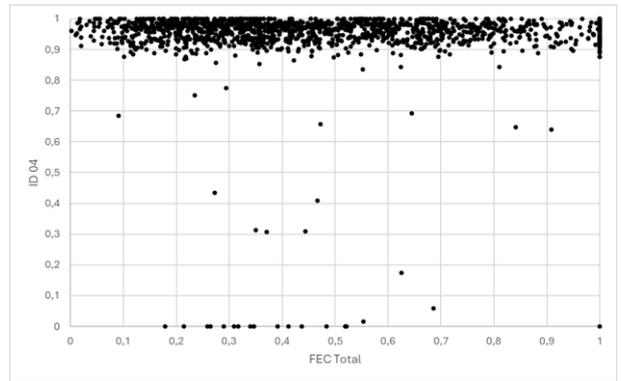


Figura 36: Diagrama de dispersão ID 04 x FEC Total 2013 da Equatorial Pará.

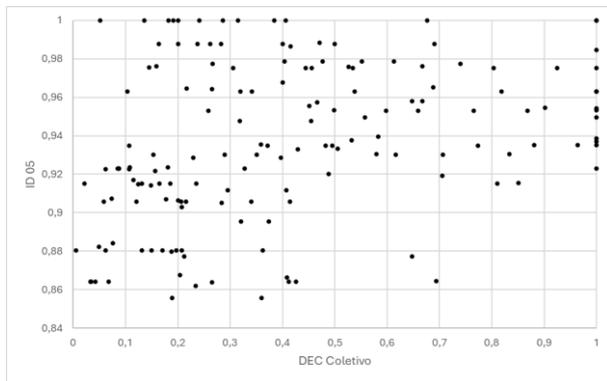


Figura 37: Diagrama de dispersão ID 05 x DEC Coletivo 2013 da CEB_DIS.

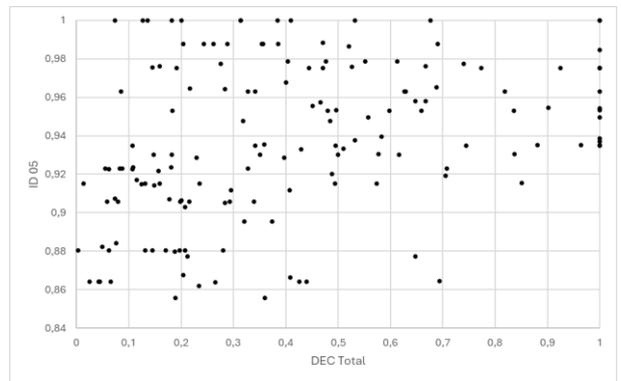


Figura 38: Diagrama de dispersão ID 05 x DEC Total 2013 da CEB_DIS.

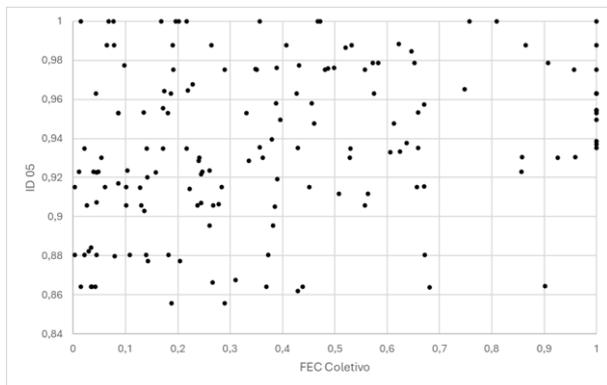


Figura 39: Diagrama de dispersão ID 05 x FEC Coletivo 2013 da CEB_DIS.

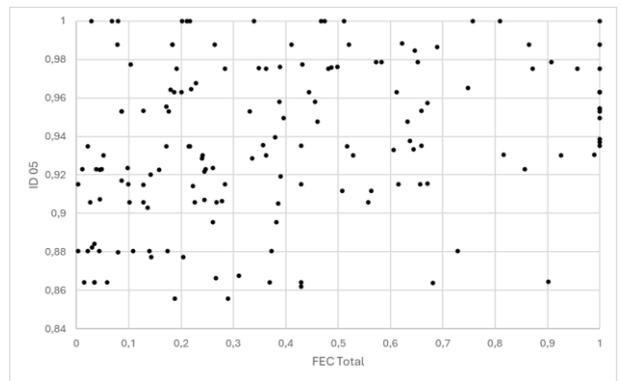


Figura 40: Diagrama de dispersão ID 05 x DEC Total 2013 da CEB_DIS.

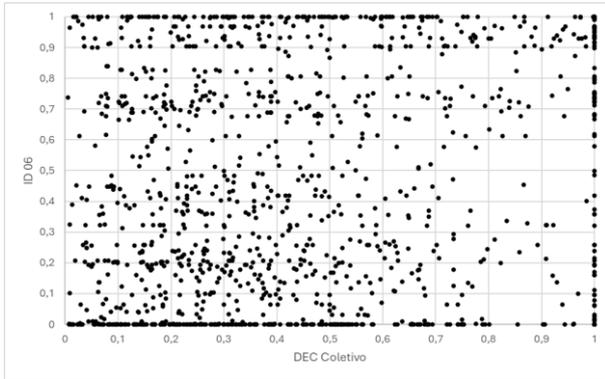


Figura 41: Diagrama de dispersão ID 06 x DEC Coletivo 2013 da CELESC.

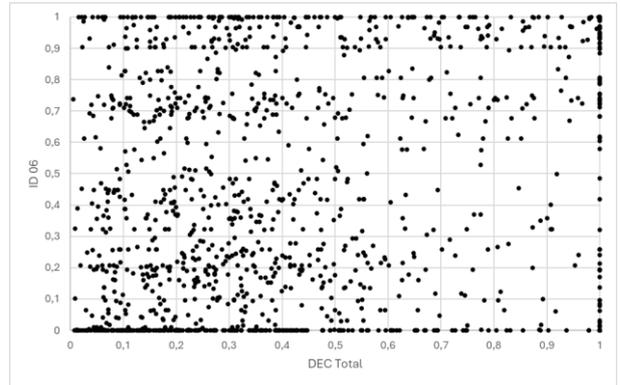


Figura 42: Diagrama de dispersão ID 06 x DEC Total 2013 da CELESC.

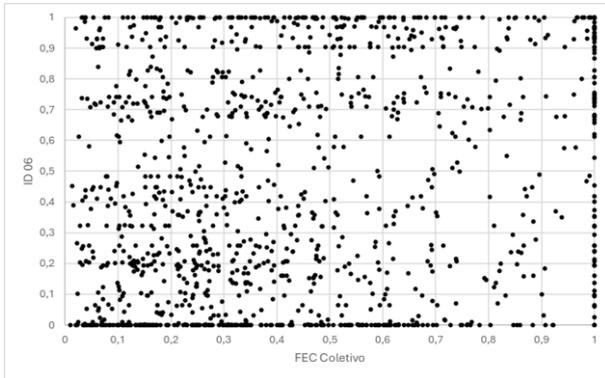


Figura 43: Diagrama de dispersão ID 06 x FEC Coletivo 2013 da CELESC.

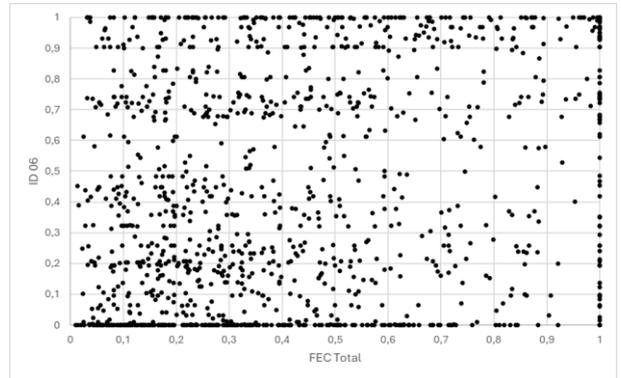


Figura 44: Diagrama de dispersão ID 06 x DEC Total 2013 da CELESC.

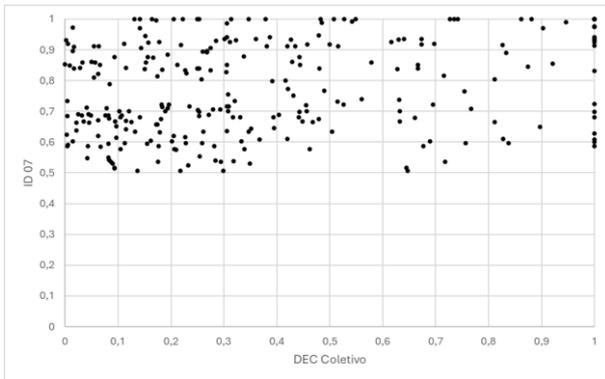


Figura 45: Diagrama de dispersão ID 07 x DEC Coletivo 2013 da CPFL Santa Cruz.

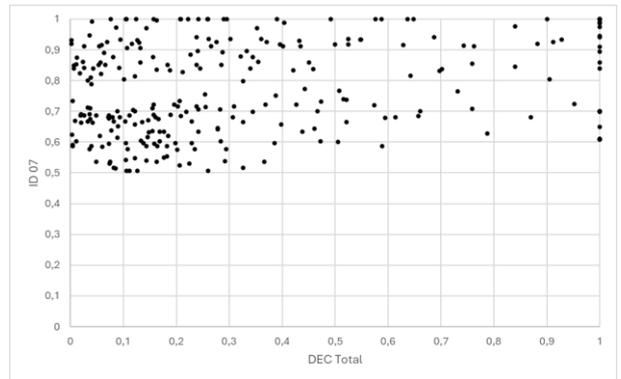


Figura 46: Diagrama de dispersão ID 07 x DEC Total 2013 da CPFL Santa Cruz.

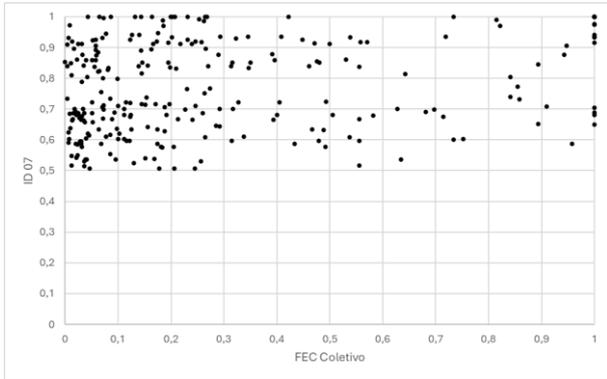


Figura 47: Diagrama de dispersão ID 07 x FEC Coletivo 2013 da CPFL Santa Cruz.

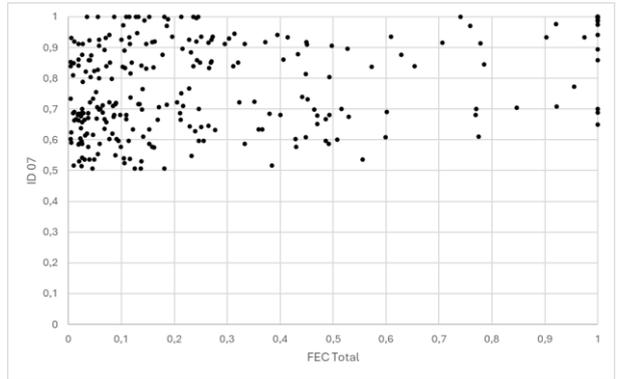


Figura 48: Diagrama de dispersão ID 07 x DEC Total 2013 da CPFL Santa Cruz.

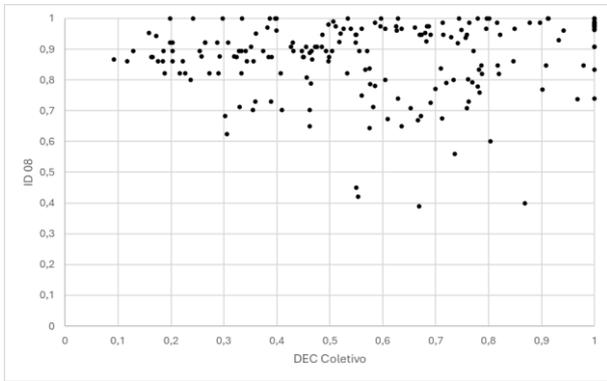


Figura 49: Diagrama de dispersão ID 08 x DEC Coletivo 2013 da AME.

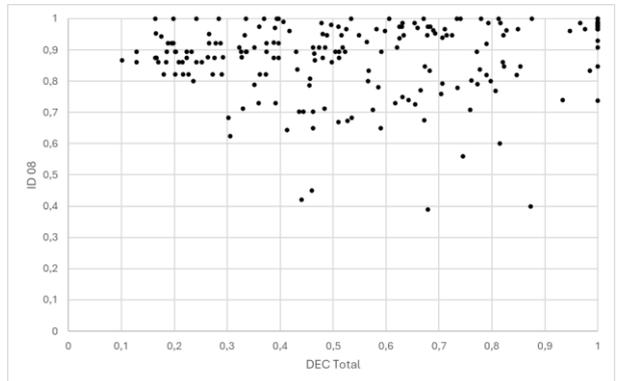


Figura 50: Diagrama de dispersão ID 08 x DEC Total 2013 da AME.

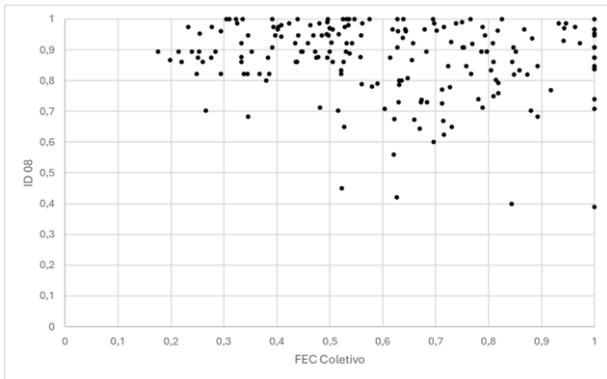


Figura 51: Diagrama de dispersão ID 08 x FEC Coletivo 2013 da AME.

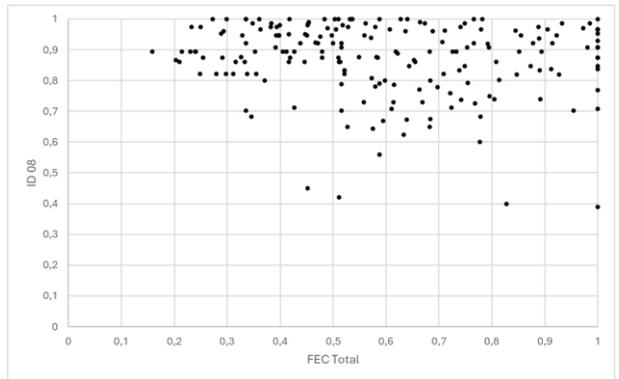


Figura 52: Diagrama de dispersão ID 08 x DEC Total 2013 da AME.

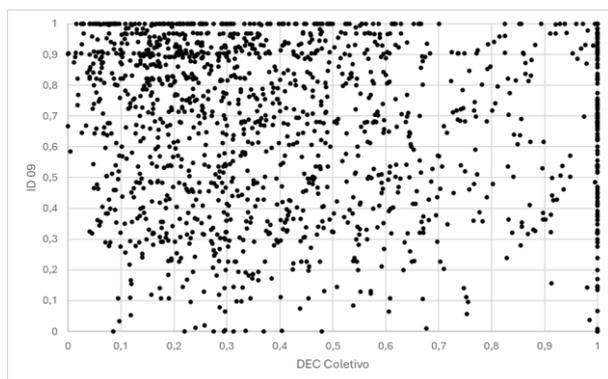


Figura 53: Diagrama de dispersão ID 09 x DEC Coletivo 2013 da CELPE.

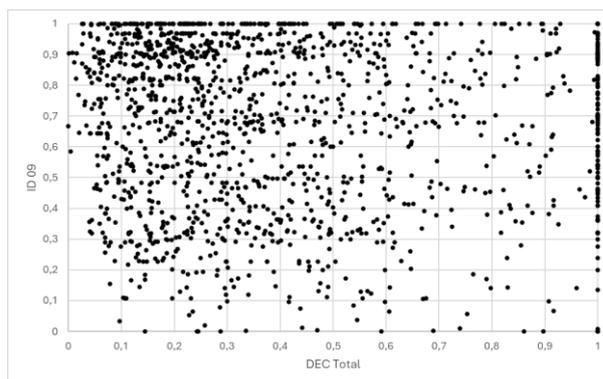


Figura 54: Diagrama de dispersão ID 09 x DEC Total 2013 da CELPE.

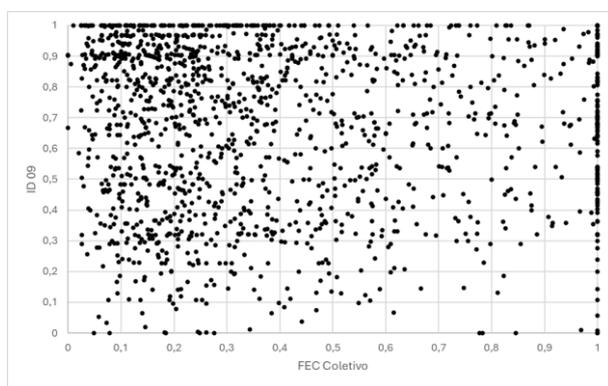


Figura 55: Diagrama de dispersão ID 09 x FEC Coletivo 2013 da CELPE.

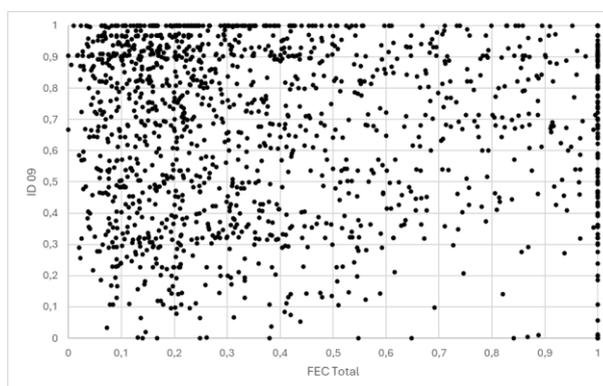


Figura 56: Diagrama de dispersão ID 09 x DEC Total 2013 da CELPE.

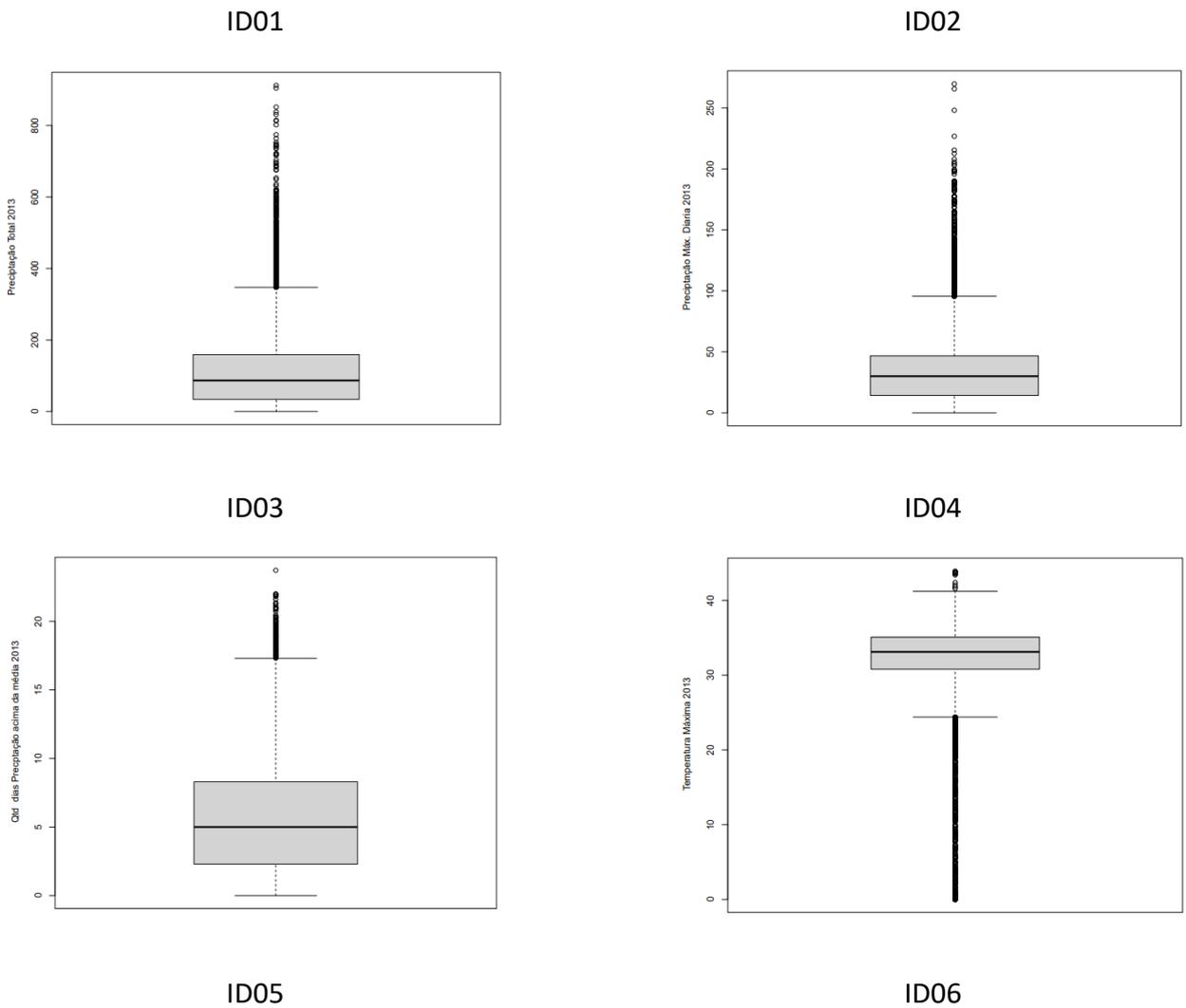
Nota-se dos gráficos acima e dos gráficos nos Anexos que para as variáveis ID 04 (temperatura máxima), 05 (temperatura média), 07 (vento, rajada máxima) e 08 (vento, velocidade média) é possível verificar alguma linearidade entre estas e os indicadores DEC e FEC coletivos e DEC e FEC totais. Contudo para as variáveis ID 01 (precipitação total), 02 (precipitação máxima diária), 03 (quantidade de dias com precipitação acima da média), 06 (quantidade de dias com temperatura acima da média) e 09 (quantidade de dias com velocidade de vento acima da média), tal relação linear não se aplica.

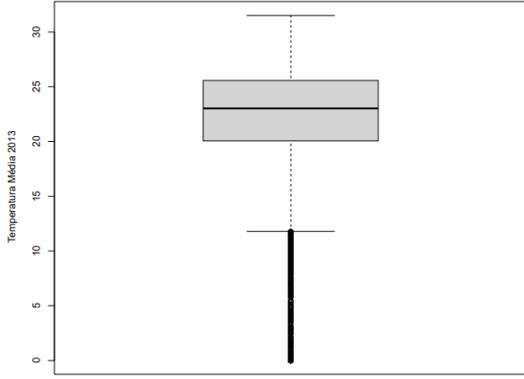
Cumpramos destacar que as variáveis cuja dispersão é não-linear e possivelmente não correlatas aos indicadores operacionais dizem respeito à quantidade de dias em que o conjunto elétrico apresentou dados acima da média dos últimos 11 anos para precipitação, temperatura média e rajada de vento média. Tais variáveis buscam exprimir eventos climáticos extremos, em

que há um comportamento atípico e intenso em um único dia, como tem-se verificado no Brasil, conforme exemplificado no capítulo INTRODUÇÃO. Além disso, verificou-se visualmente não haver linearidade na relação com as variáveis associadas a precipitações, valores acumulados e máximos.

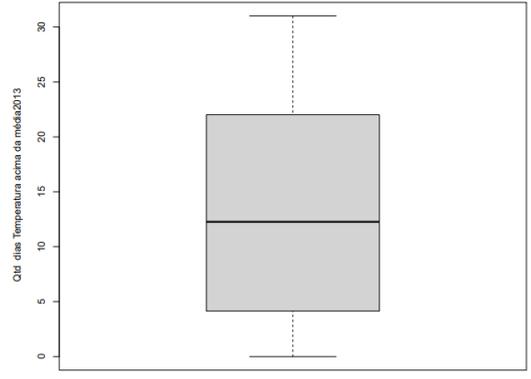
Foram gerados também os diagramas de caixa, ou *boxplots*, no sentido de avaliar a presença de *outliers*, como pode ser verificado da Figura 57 à Figura 59 a seguir.

Figura 57: *Boxplots* para identificação de *outliers* das variáveis em 2013.

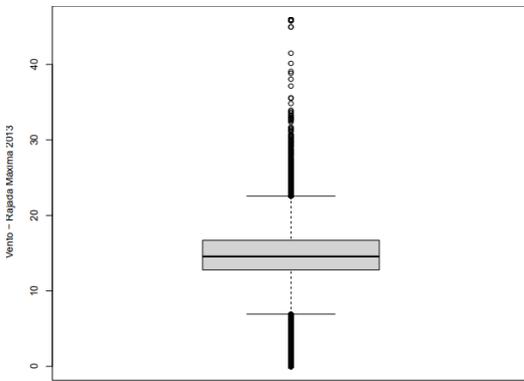




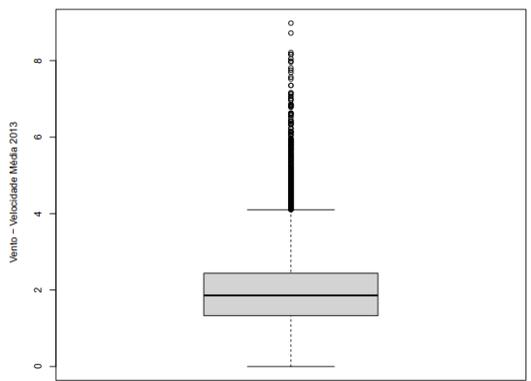
ID07



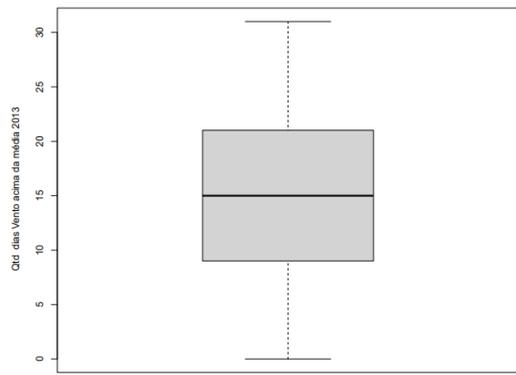
ID08



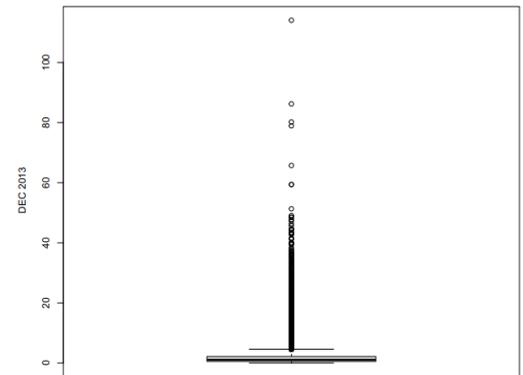
ID09



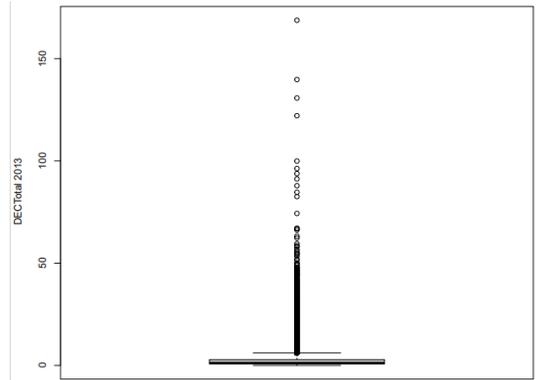
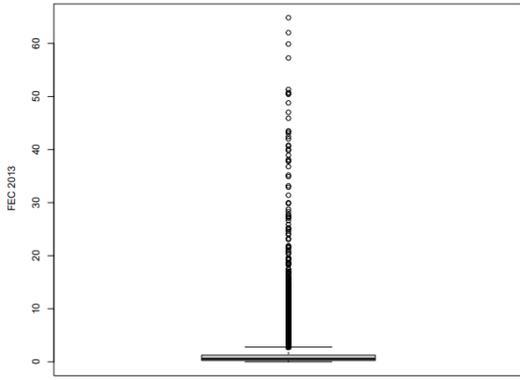
DEC Coletivo



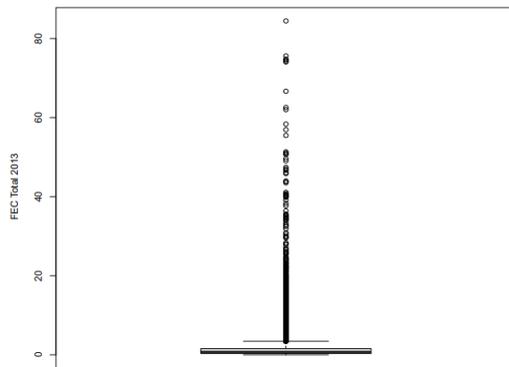
FEC Coletivo



DEC Total



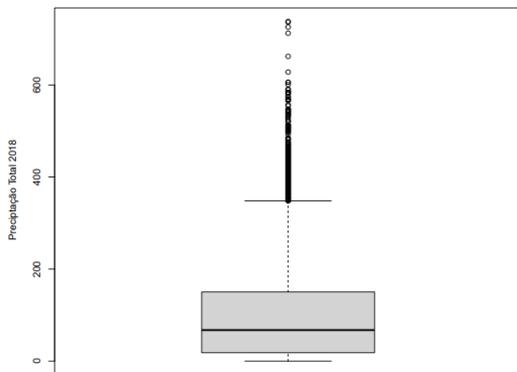
FEC Total



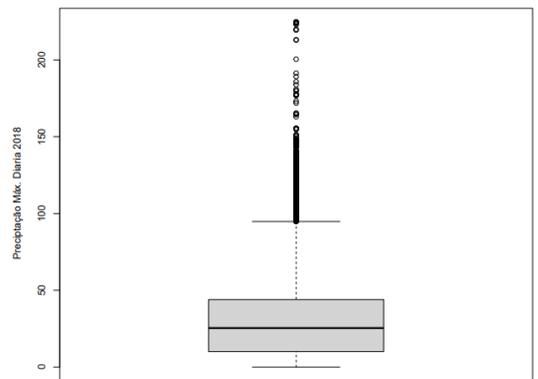
Fonte: Elaboração própria.

Figura 58: *Boxplots* para identificação de *outliers* das variáveis em 2018.

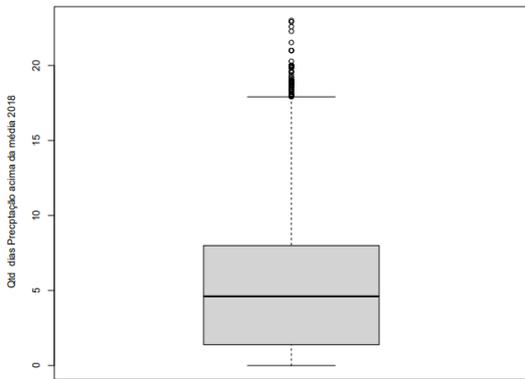
ID01



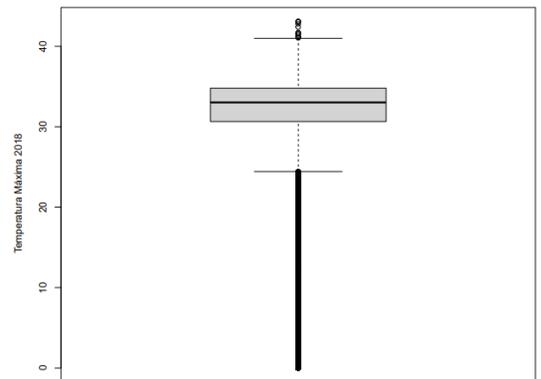
ID02



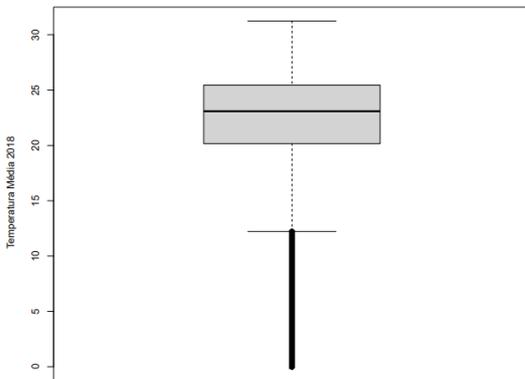
ID03



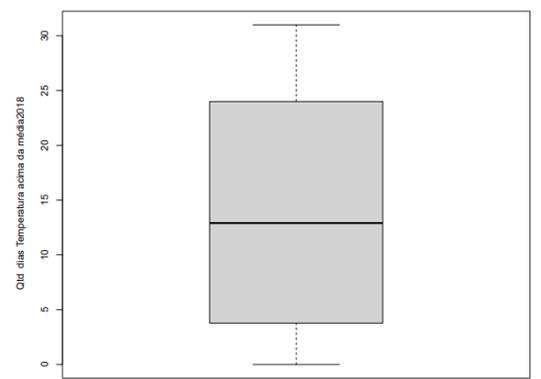
ID04



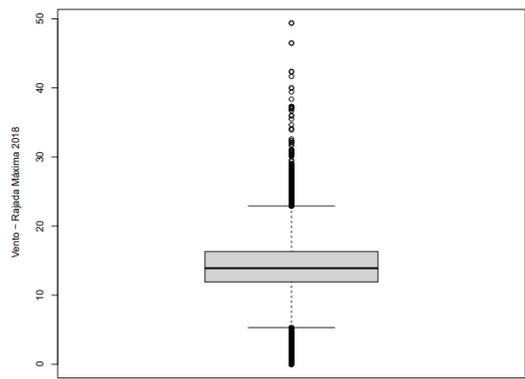
ID05



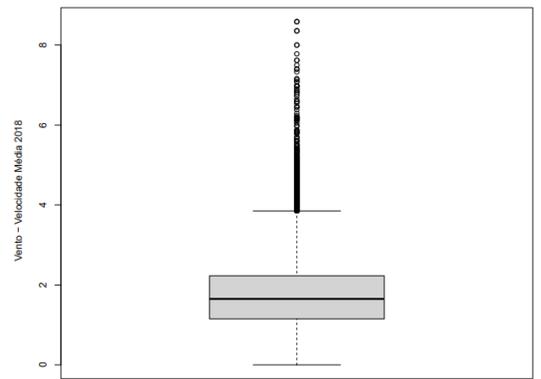
ID06



ID07

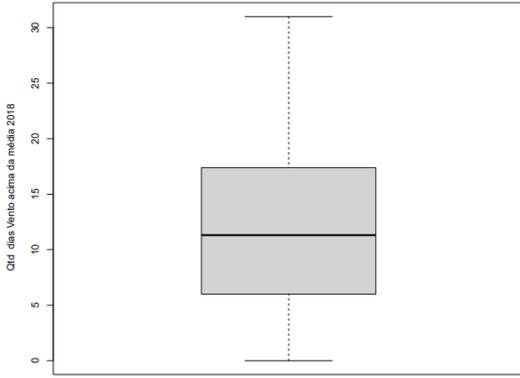


ID08

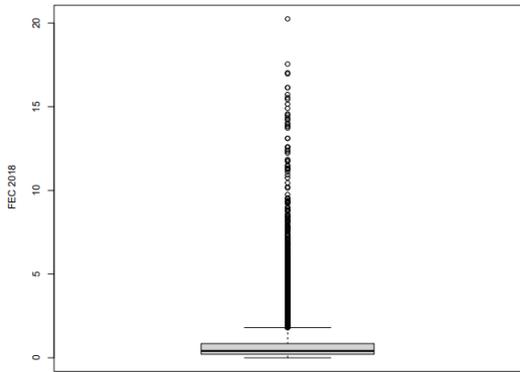


ID09

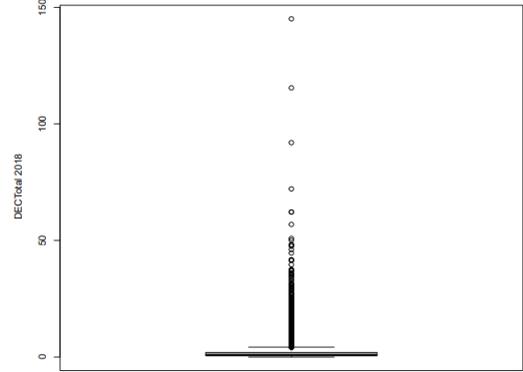
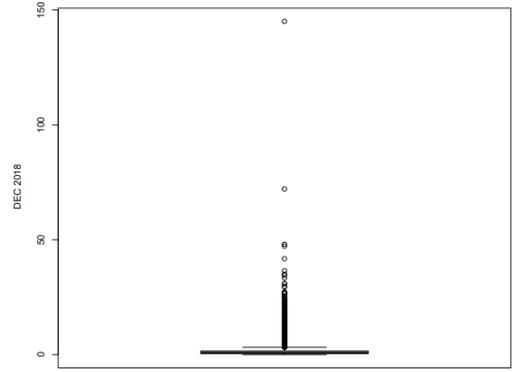
DEC Coletivo



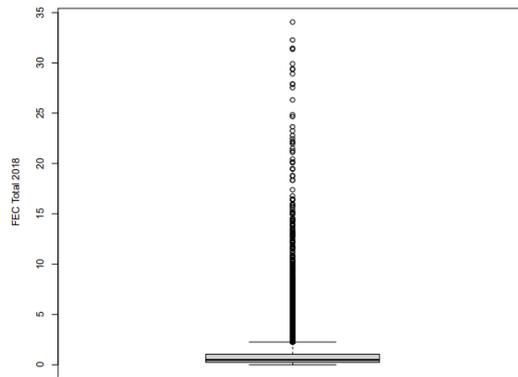
FEC Coletivo



DEC Total



FEC Total

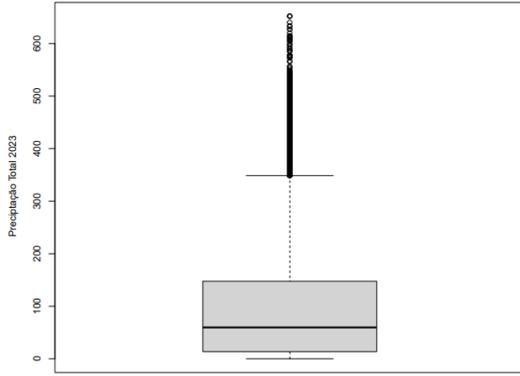


Fonte: Elaboração própria.

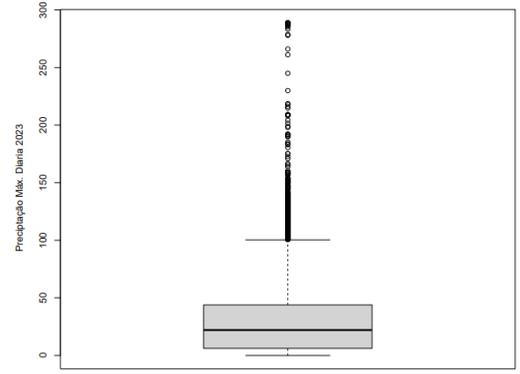
Figura 59: *Boxplots* para identificação de *outliers* das variáveis em 2023.

ID01

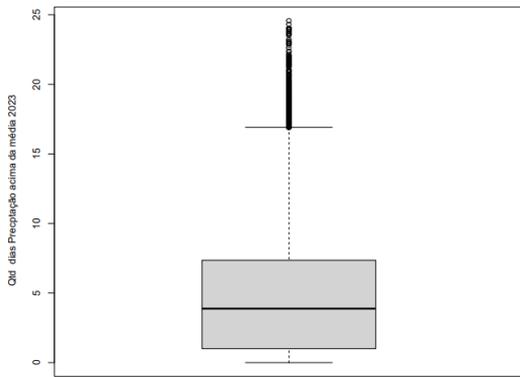
ID02



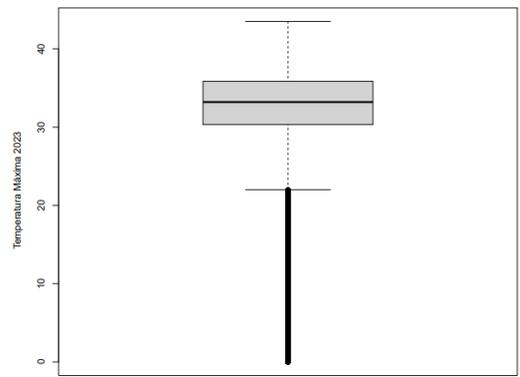
ID03



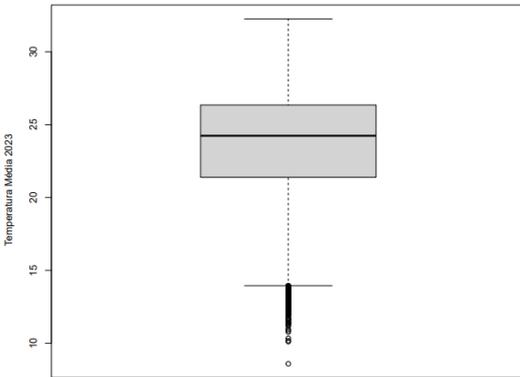
ID04



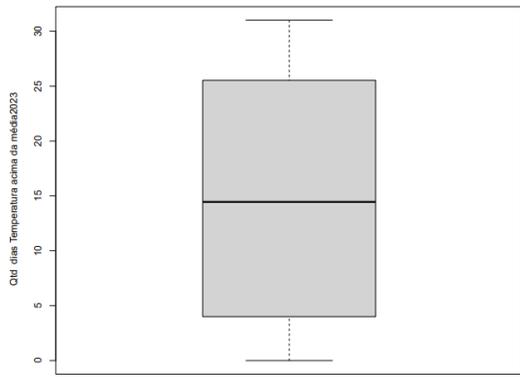
ID05



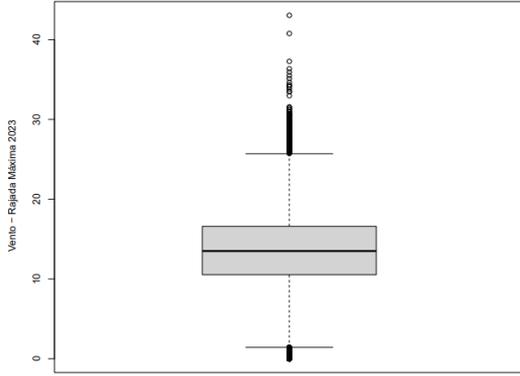
ID06



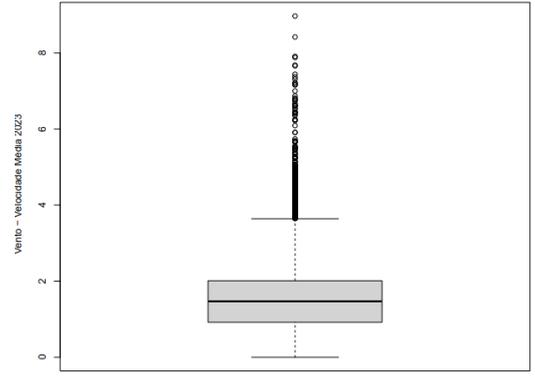
ID07



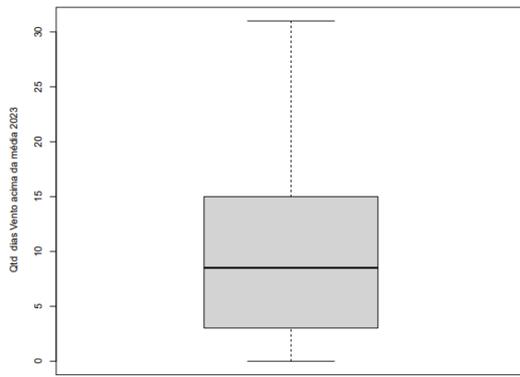
ID08



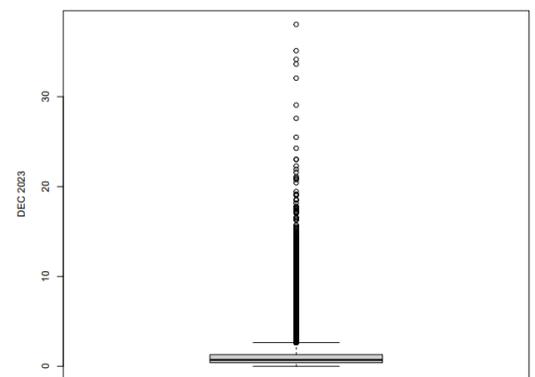
ID09



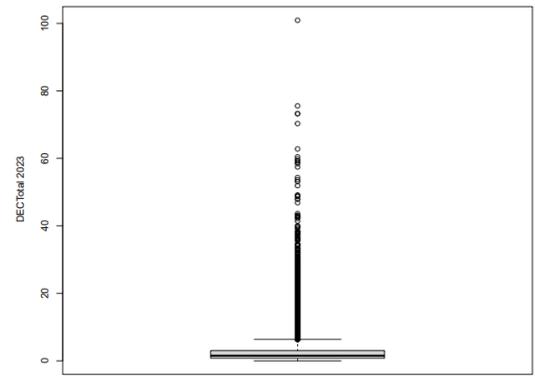
DEC Coletivo



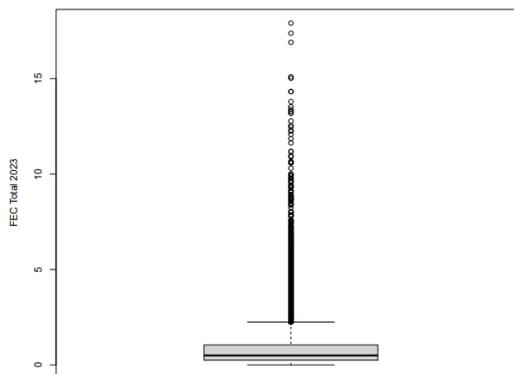
FEC Coletivo



DEC Total



FEC Total



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que a maior parte das variáveis apresentam *outliers*, sejam elas ambientais ou operacionais. No caso das variáveis de temperatura máxima e temperatura média, verificando valores extremos a menor, e, para as demais variáveis, a maior.

Cabe enfatizar que, dado o objetivo desse trabalho de capturar a influência, caso exista, de eventos climáticos severos sobre os indicadores de continuidade, optou-se por manter os valores extremos de forma a registrar indicadores “anormais” e a correlação entre eles, sem correr o risco de incorrer na retirada indevida de informações que expressem justamente o comportamento atípico que se pretende avaliar. Tal manutenção, portanto, busca preservar eventos reais e extremos que afetaram a distribuição de energia elétrica.

4.2 Resultados da análise inferencial estatística

Nessa etapa foram calculadas as matrizes de correlação com auxílio do *software R*. Os resultados encontram-se sintetizados na Tabela 9 a seguir.

Os p-valores foram calculados com o auxílio do *software R* para realização do teste de significância, considerando um nível de significância de 5%. Todos os p-valores verificados apresentaram valores abaixo de 0,05, inclusive muito inferiores, chegando a valores na ordem de 10^{-16} . Desse modo, é possível descartar a hipótese H_0 de que o coeficiente de correlação populacional é nulo. Assim sendo, há correlação positiva significativa entre todas as variáveis observadas.

Partindo para a avaliação qualitativa dos coeficientes de correlação r e r_s calculados, verifica-se que:

- Para variável “Precipitação total”:

Os maiores valores de correlação foram obtidos com relação ao DEC total e coletivo no ano de 2018, tanto para o método de Pearson, quanto de Spearman. Tais correlações alcançaram valores acima de r acima de 0,30, o que corresponde a uma correlação moderada. Em todos os demais casos foram verificadas correlações não nulas, significantes, porém fracas.

As menores correlações, por sua vez, foram obtidas com relação ao FEC Coletivo em 2023. Tal fato pode estar associado à redução expressiva desse indicador nos últimos anos, com o robustecimento dos sistemas de distribuição, cuja característica construtiva confere maior resiliência a eventos climáticos, em detrimento da correlação entre as variáveis.

- Para variável “Precipitação máxima diária”:

Novamente os maiores valores de correlação foram obtidos com relação ao DEC total e coletivo no ano de 2018, tanto para o método de Pearson, quanto de Spearman. Tais correlações alcançaram valores acima de r são próximas de 0,30, o que corresponde a uma correlação moderada. Em todos os demais casos foram verificadas correlações não nulas, significantes, porém fracas.

Um ponto a se destacar é que, por apresentar características extremas, as precipitações máximas apresentam maior correlação com o DEC total do que com o DEC coletivo. Tal fato denota a aderência dos expurgos, especialmente por dia crítico (DEC_{INC} e DEC_{IPC}) e por situação de emergência (DEC_{INE}) à seu propósito, que é o de eximir de responsabilidade as concessionárias de energia diante de eventos atípicos.

Assim como para a “Precipitação total”, as menores correlações, por sua vez, foram obtidas com relação ao FEC Coletivo em 2023.

- Para variável “Quantidade de dias com precipitação acima da média”:

A quantidade de dias com precipitação acima da média apresentou correlação moderada com relação aos indicadores DEC total e DEC coletivo em 2018. Para os demais casos obteve-se coeficientes de correlação que indicam correlação não nula, significativa e fraca.

- Para variável “Temperatura máxima”:

Para essa variável a maior correlação obtida foi com DEC total cujo coeficiente foi calculado com o método de Spearman. Entretanto, cumpre destacar que, conforme avaliação visual dos diagramas de dispersão, a temperatura parece ter comportamento linear, sendo assim, a melhor avaliação se dá com o teste de Pearson.

Isso posto, de maneira geral, a temperatura máxima apresentou coeficiente de correlação de Pearson não nulo, significativo e fraco. Importante destacar que, com o aumento das temperaturas, espera-se que cada vez mais o coeficiente de correlação aumente entre essas variáveis, principalmente caso não haja investimentos no sistema elétrico a fim de absorver o aumento de demanda inerente das altas temperaturas.

-se que cada vez mais o coeficiente de correlação aumente entre essas variáveis, principalmente caso não haja investimentos no sistema elétrico a fim de absorver o aumento de demanda inerente das altas temperaturas.

- Para variável “Temperatura média”:

Para a temperatura média os maiores valores de correlação obtidos foram no ano de 2023, em que a correlação se aproximou de níveis moderados para o DEC total. Nesse ponto, é importante destacar o quanto o coeficiente de correlação do DEC total é superior ao do DEC coletivo, reforçando a aderência dos expurgos ao seu propósito.

- Para variável “Quantidade de dias com temperatura acima da média”:

A quantidade de dias com temperatura acima da média se correlaciona mais fortemente com o DEC total, tendo um constante aumento desse coeficiente no passar dos últimos 11 anos. Destaca-se também a correlação desta variável com o FEC total. Apesar disso, verifica-se ainda que a correlação, apesar de significativa e não nula, é fraca.

- Para variável “Vento, rajada máxima”:

A rajada de vento máxima apresenta aumento progressivo com o passar dos anos em relação ao DEC total e ao FEC total. Tal fato não se repete para os indicadores coletivos, indicando, mais uma vez, certa eficiência dos expurgos previstos na regulamentação vigente.

O maior coeficiente obtido foi pelo método de Spearman em relação ao DEC total, o qual indica um grau moderado de correlação entre as variáveis.

- Para variável “Vento, velocidade média”:

Para a velocidade média de ventos os coeficientes de correlação, apesar de significativos, demonstraram-se fracos, tendo seus maiores valores sido obtidos em 2023 e nos valores totais de DEC e FEC, o que pode denotar a intensificação de eventos extremos e seus impactos nos indicadores de continuidade.

- Para variável “Quantidade de dias com velocidade de vento acima da média”:

Comportamento similar à variável anterior é verificado para a quantidade de dias com velocidade de vento acima da média.

Tabela 9: Matriz de correlação de Pearson e de Spearman.

Variável Operacional/ Climática	Ano	Método de correlação	DEC Total	DEC Coletivo	FEC Total	FEC Coletivo
Precipitação total	2013	Pearson	0,224343	0,201733	0,153672	0,133403
		Spearman	0,24085	0,220049	0,174963	0,149887
	2018	Pearson	0,301642	0,310643	0,269649	0,218492
		Spearman	0,301642308	0,310643099	0,269648936	0,218491903
	2023	Pearson	0,176925	0,147113	0,148311	0,07613
		Spearman	0,188313	0,161506	0,172177	0,08416
Precipitação máxima	2013	Pearson	0,194092	0,172404	0,130326	0,111691
		Spearman	0,212732	0,190912	0,14752	0,126516
	2018	Pearson	0,295399	0,265193	0,260009	0,188023
		Spearman	0,295398943	0,26519305	0,260008737	0,188022807
	2023	Pearson	0,177657	0,127178	0,142884	0,064928
		Spearman	0,185369	0,138028	0,168595	0,075397

Quantidade de dias com precipitação acima da média	2013	Pearson	0,220432	0,20646	0,157721	0,14024
		Spearman	0,228842	0,216491	0,17154	0,149634
	2018	Pearson	0,30887	0,292488	0,273054	0,212769
		Spearman	0,30887041	0,29248821	0,273054223	0,21276894
	2023	Pearson	0,155841	0,145197	0,133771	0,076187
		Spearman	0,169475	0,155531	0,156355	0,080329
Temperatura máxima	2013	Pearson	0,090561	0,074266	0,066058	0,052717
		Spearman	0,165967	0,129471	0,12773	0,104643
	2018	Pearson	0,181694	0,151828	0,163618	0,122772
		Spearman	0,181694411	0,151828254	0,163617921	0,122772371
	2023	Pearson	0,107576	0,042999	0,086621	0,02599
		Spearman	0,250032	0,11478	0,200831	0,078581
Temperatura média	2013	Pearson	0,124912	0,092288	0,091313	0,072022
		Spearman	0,192924	0,152055	0,146289	0,125558

	2018	Pearson	0,166389	0,155229	0,165319	0,133748
		Spearman	0,166388819	0,155229002	0,165319182	0,133748079
	2023	Pearson	0,277324	0,193245	0,208457	0,126341
		Spearman	0,294326	0,191874	0,223452	0,125407
Quantidade de dias com temperatura acima da média	2013	Pearson	0,190514	0,174719	0,149484	0,128939
		Spearman	0,190115	0,170658	0,147202	0,128875
	2018	Pearson	0,209687	0,184784	0,200097	0,144166
		Spearman	0,209687018	0,184784275	0,200097394	0,144165674
	2023	Pearson	0,212891	0,173446	0,176941	0,109514
		Spearman	0,212521	0,169821	0,188087	0,109393
Vento, rajada máxima	2013	Pearson	0,162945	0,11476	0,104392	0,068539
		Spearman	0,191137	0,132606	0,123863	0,084884
	2018	Pearson	0,237667	0,178869	0,179413	0,121207
		Spearman	0,237667421	0,178869355	0,179412636	0,121206788

	2023	Pearson	0,231864	0,100145	0,176578	0,060137	
		Spearman	0,29725	0,133603	0,228131	0,076272	
Vento, velocidade média	2013	Pearson	0,04461	0,033665	0,040013	0,019468	
		Spearman	0,060504	0,039713	0,056503	0,032313	
	2018	Pearson	0,038452	0,037942	0,049649	0,037916	
		Spearman	0,03845192	0,037941579	0,049649256	0,037915937	
	2023	Pearson	0,120826	0,024239	0,102465	0,022238	
		Spearman	0,148899	0,045625	0,132876	0,037235	
	Quantidade de dias com velocidade de vento acima da média	2013	Pearson	0,068902	0,035733	0,061494	0,029114
			Spearman	0,068672	0,033745	0,062846	0,029953
2018		Pearson	0,023678	0,023667	0,037032	0,033483	
		Spearman	0,023678391	0,023667343	0,037032092	0,033483439	
2023		Pearson	0,151153	0,053264	0,141771	0,045295	
		Spearman	0,147152	0,053533	0,140377	0,044073	

Fonte: Elaboração própria.

De maneira geral observa-se que as maiores correlações verificadas foram em relação ao DEC total, o qual apresenta grau moderado de correlação em vários anos, principalmente em 2018 e 2023. Outro fato interessante é que para essa variável, há em vários casos o aumento da correlação nos últimos anos quando relacionada a temperatura média e rajadas máximas de vento. O FEC coletivo foi a variável operacional com correlação mais fraca com as variáveis climáticas estudadas ao passo que as variáveis ambientais relacionadas a velocidade média de vento e quantidade de dias com velocidade de vento acima da média foram aquelas que atingiram os menores coeficientes de correlação com as variáveis operacionais.

5 CONCLUSÕES

As mudanças climáticas são um fato cada vez mais real e presente no cotidiano das populações ao redor do mundo, assim como no Brasil. Por isso, estudar os seus impactos e conhecer seus “gatilhos” sobre setores relevantes da sociedade auxiliam na tomada de decisões para mitigar suas consequências ou mesmo se antecipar a elas. Assim sendo, esse trabalho buscou avaliar de que forma variáveis climáticas se correlacionam com interrupções no fornecimento de energia. Focou-se nos indicadores pertinentes à continuidade do fornecimento de energia elétrica no segmento de distribuição, por se tratar de um setor de infraestrutura crítica, cujos danos afetam a sociedade de maneiras diversas.

Após etapas de levantamento de dados, climáticos e operacionais, do tratamento destes dados, da análise exploratória e inferencial estatística, observou-se que, de maneira geral, há fraca correlação entre variáveis climáticas e os indicadores de continuidade, podendo chegar em alguns casos a níveis moderados de correlação. O indicador com maiores coeficientes de correlação é o DEC total, o que demonstra, quando comparado ao DEC coletivo, a importância da regulamentação vigente, que prevê expurgos para situações de emergência e dias críticos, os quais, de acordo com os valores obtidos de correlação, abrange de maneira razoável eventos climáticos extremos.

Verificou-se ainda que variáveis como velocidade média de vento e quantidade de dias com velocidade de vento acima da média pouco se correlacionam com os indicadores de continuidade, apesar de haver correlação não nula significativa, considerando um nível de significância de 5%. Do ponto de vista das variáveis operacionais, o FEC coletivo é a variável que apresenta os menores coeficientes de correlação com as variáveis ambientais, o que permite concluir que além dos expurgos previstos em regulamentação serem plausíveis, há um sinal de melhoria desse indicador, o que demonstra a maior resiliência a interrupções de fornecimento, obtidas com a modernização dos ativos de distribuição e das técnicas de manutenção, por exemplo.

Finalmente, cumpre esclarecer que, há diversas variáveis que podem influenciar nos indicadores de continuidade, por exemplo, características construtivas das redes, investimentos

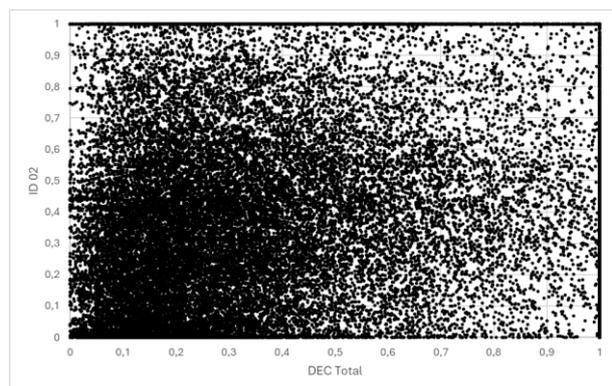
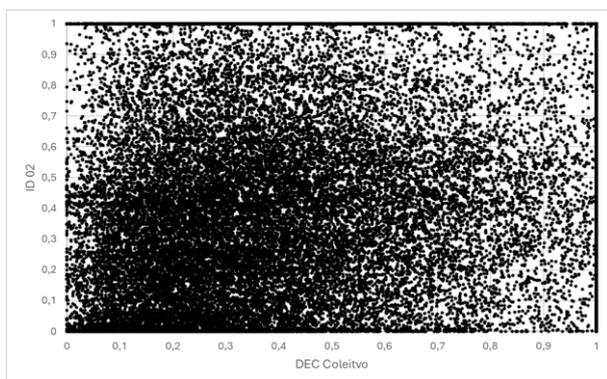
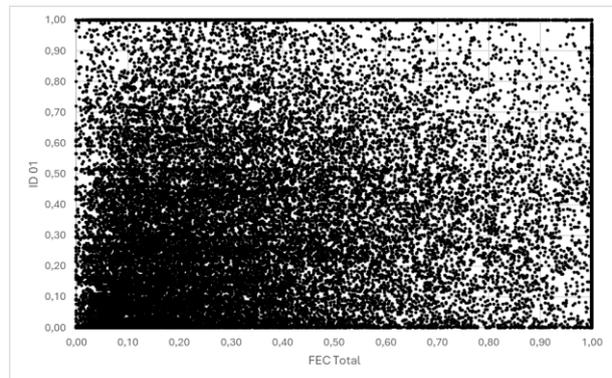
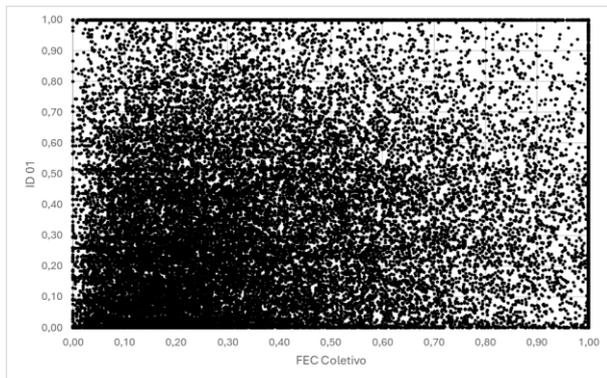
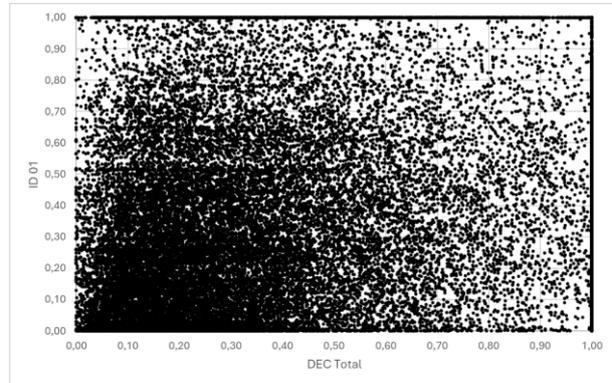
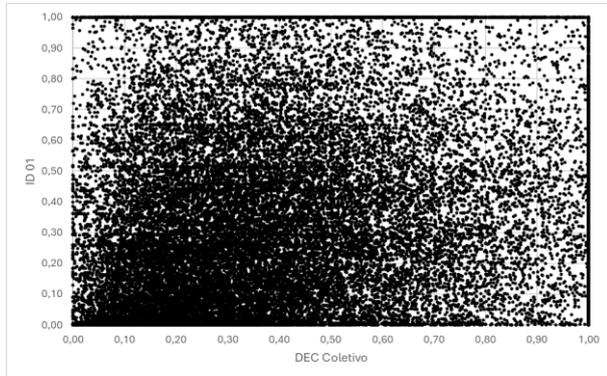
operacionais em equipes de atendimento emergencial, infraestrutura de estradas e vias de acesso, entre outras. Assim sendo, a fraca correlação observada para alguns casos pode ser resultado dessas variáveis de “confundimento”, sendo necessária uma análise mais ampla e detalhada.

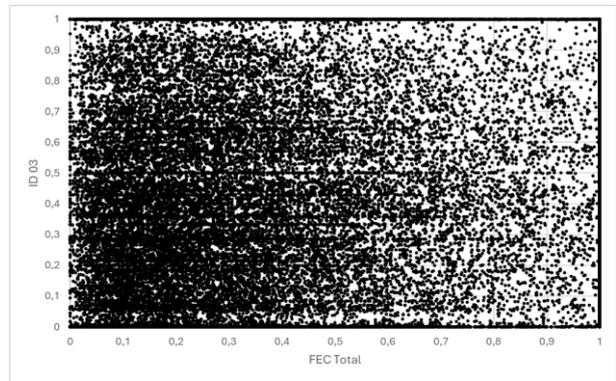
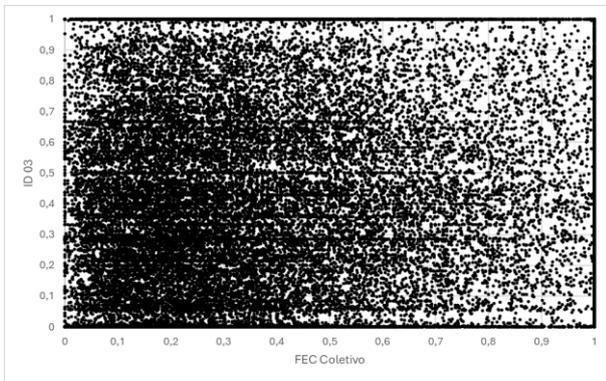
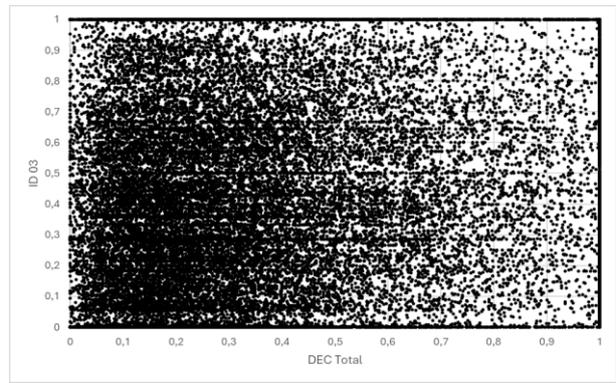
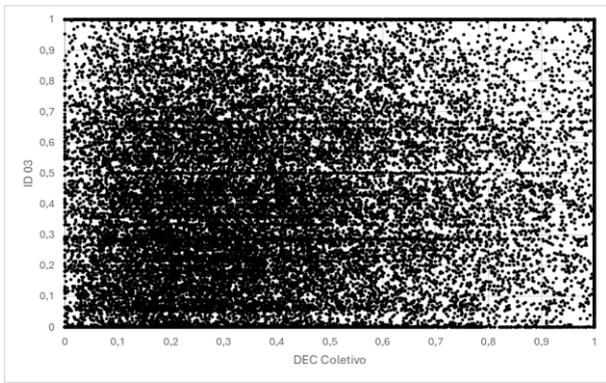
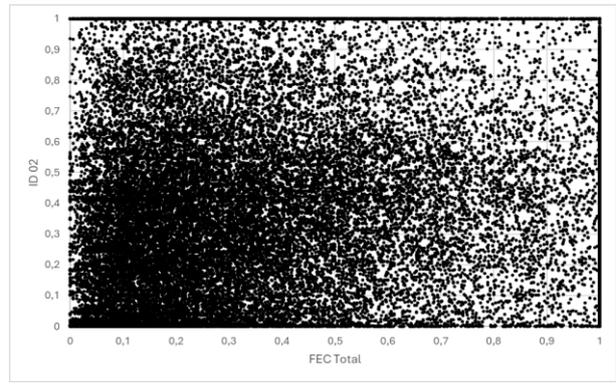
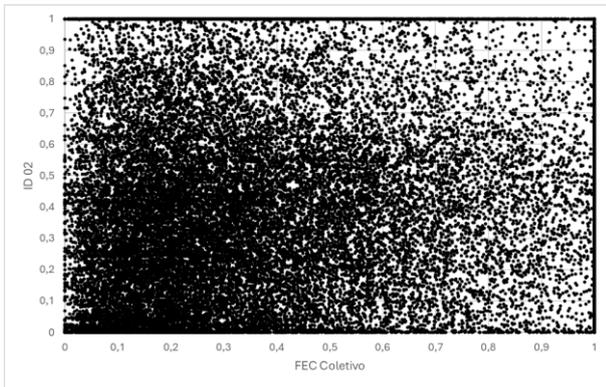
À vista disso, conclui-se que, para uma visão ainda mais acurada dos resultados, uma forma a ser adotada em trabalhos futuros é da análise conjunta de correlação, aferindo coeficientes de correlação a conjuntos de variáveis, dentre elas, as climáticas. Dessa forma, poderão ser observados de maneira combinada, os efeitos das n variáveis possivelmente correlatas aos indicadores de continuidade. Outra proposição seria o recorte de regiões mais adensadas em estações meteorológicas, para melhora da acurácia da avaliação realizada.

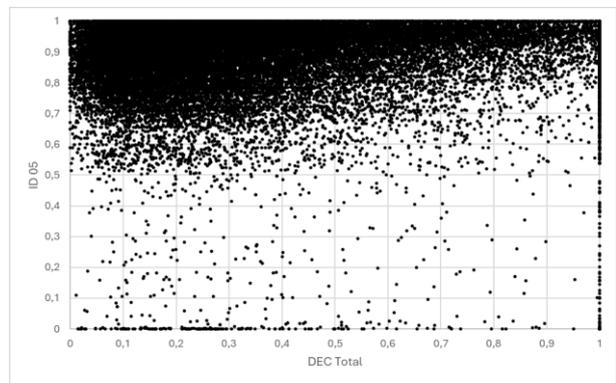
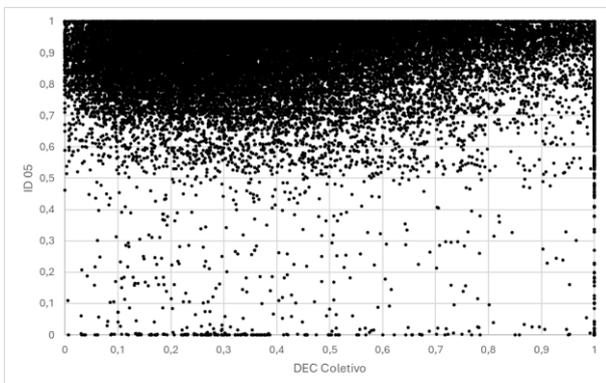
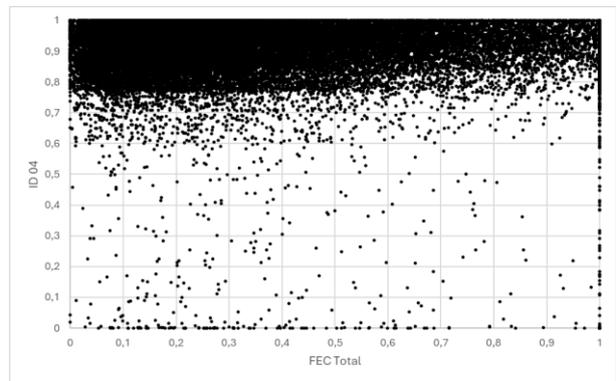
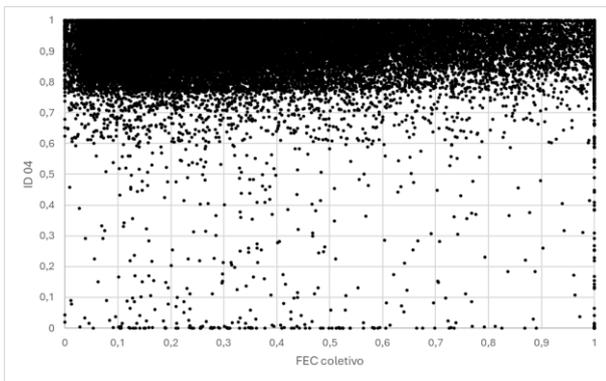
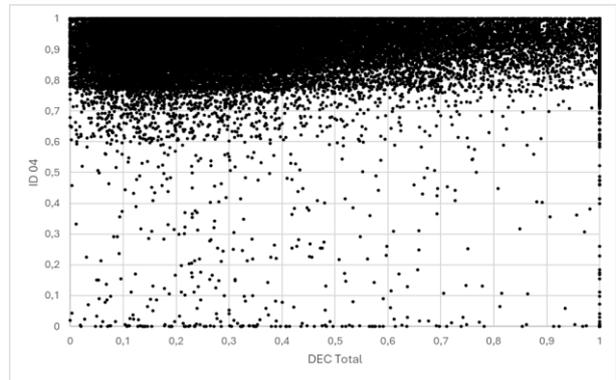
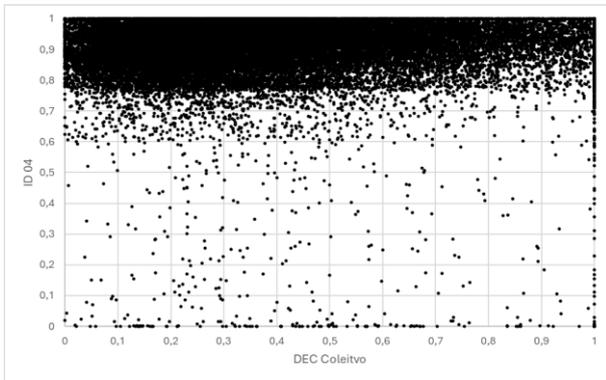
Por fim, com os resultados obtidos nessa dissertação, é possível desdobrar estudos mais pormenorizados no sentido de definir gatilhos das variáveis climáticas a serem observados, principalmente de precipitação (total e máxima), temperatura média e rajada de vento máxima, para alocação de equipes e otimização de seu despacho com o objetivo de reduzir a duração de interrupções e, conseqüentemente, o DEC total, dentre outras ações operacionais e de manutenção.

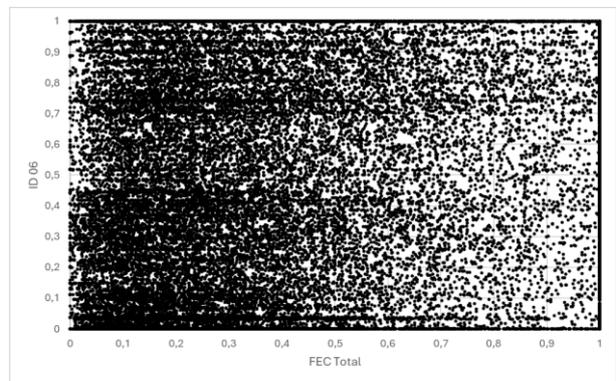
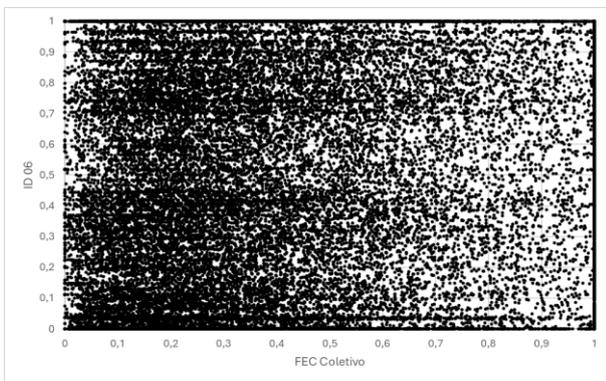
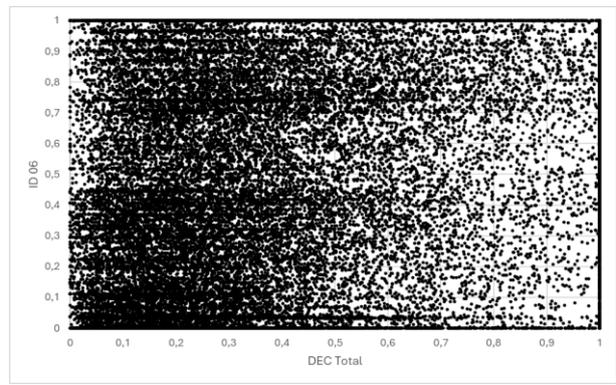
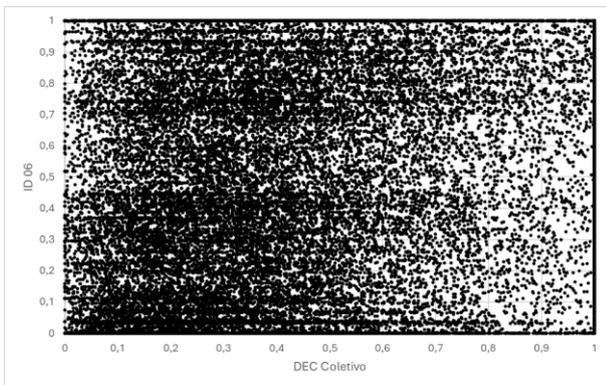
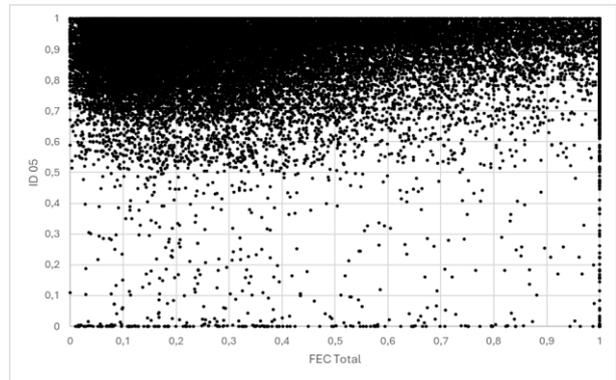
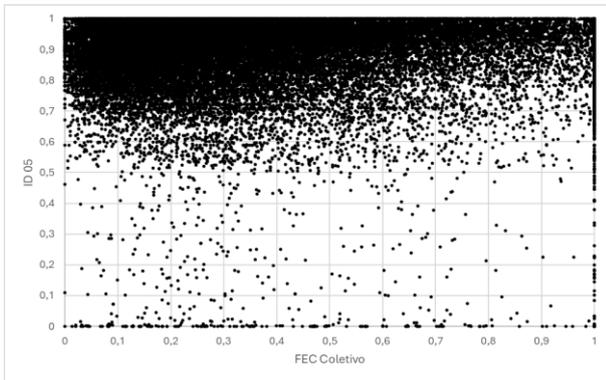
6 ANEXOS

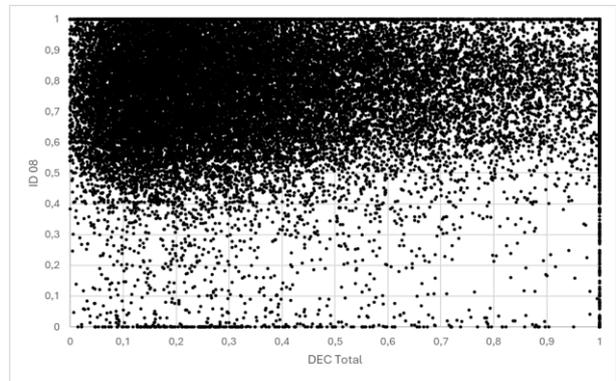
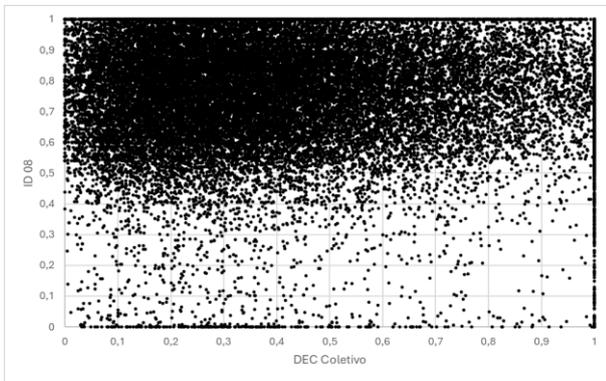
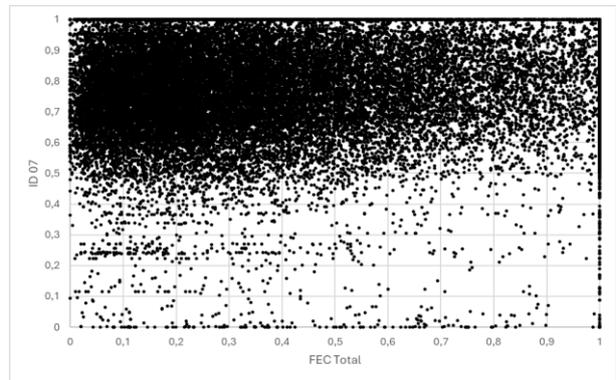
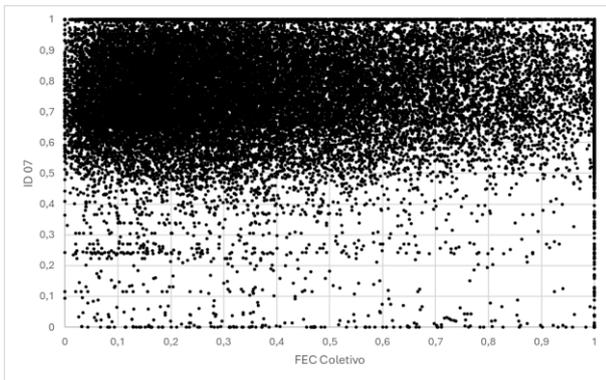
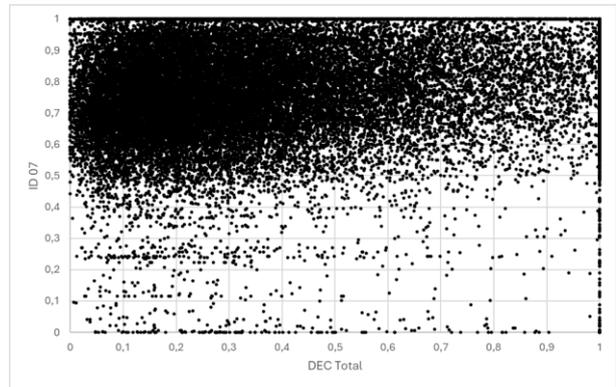
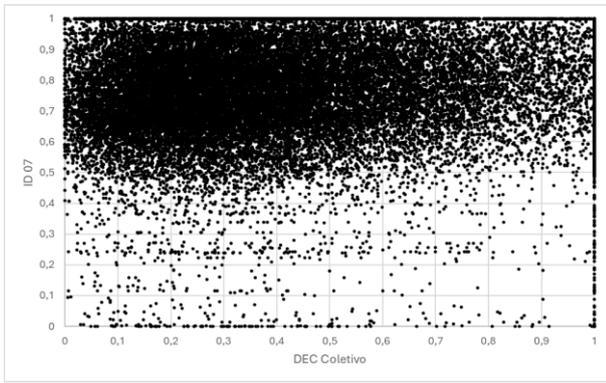
6.1 GRÁFICOS DE DISPERSÃO 2013

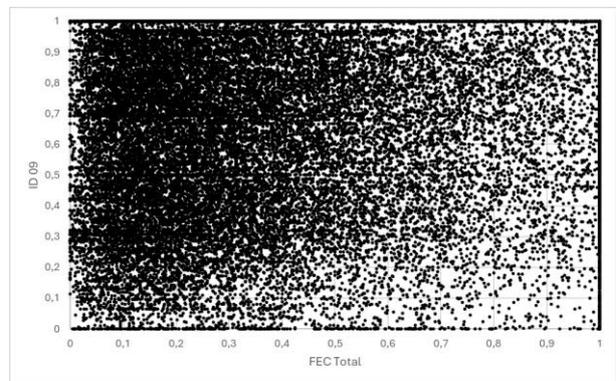
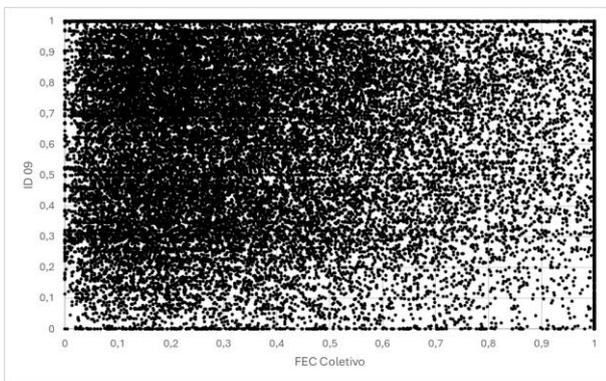
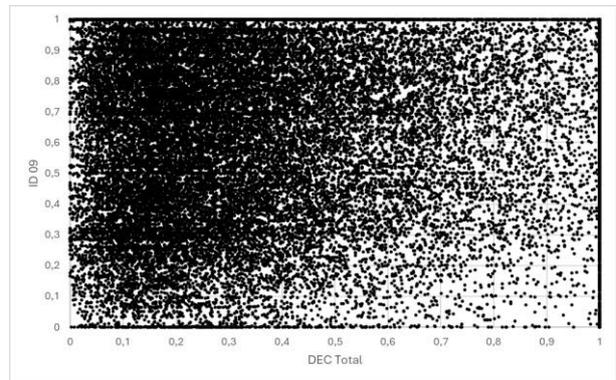
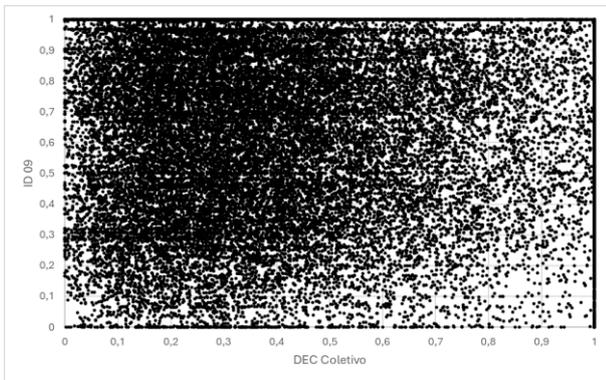
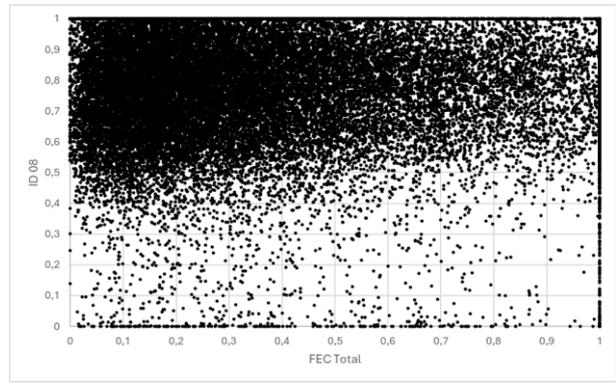
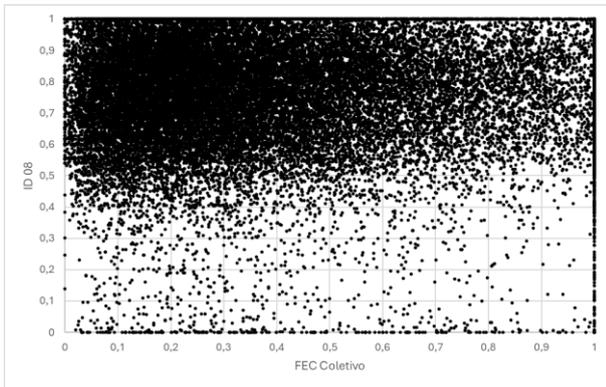




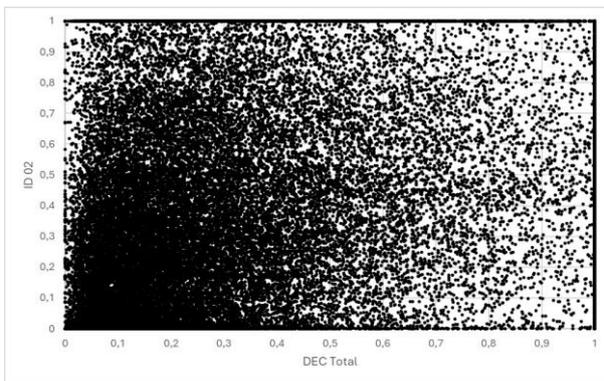
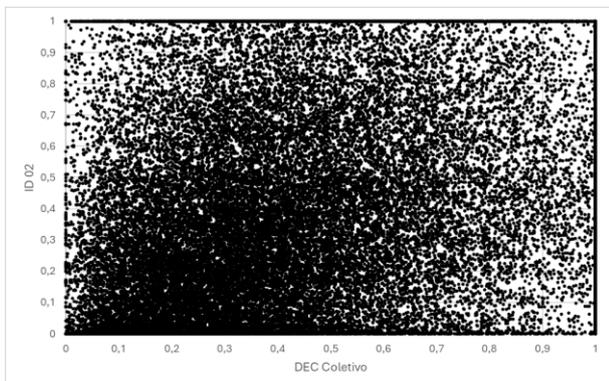
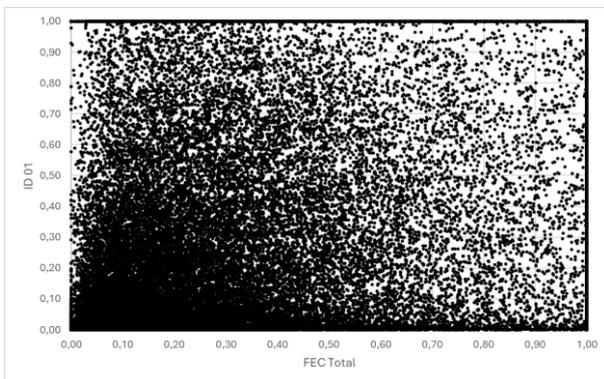
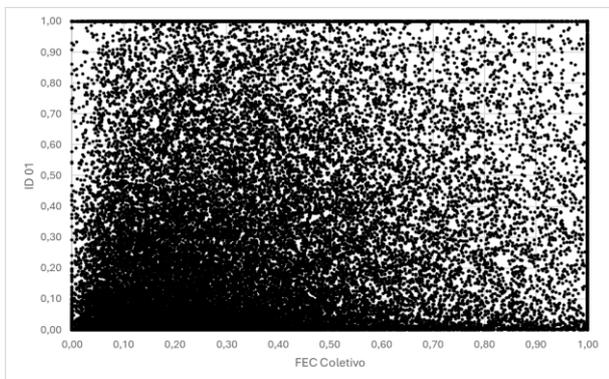
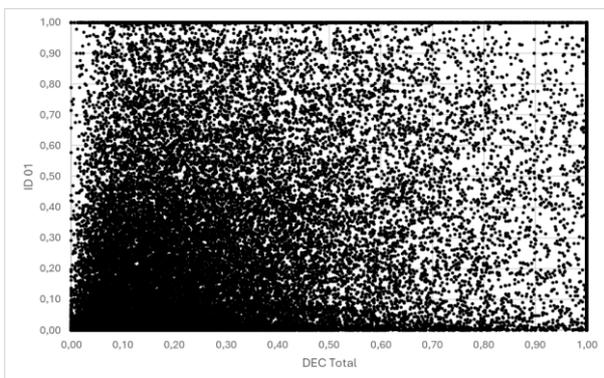
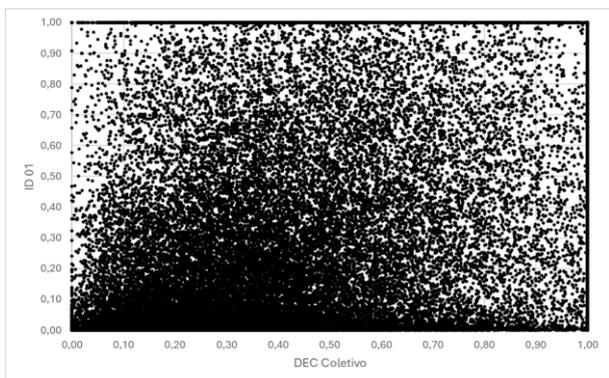


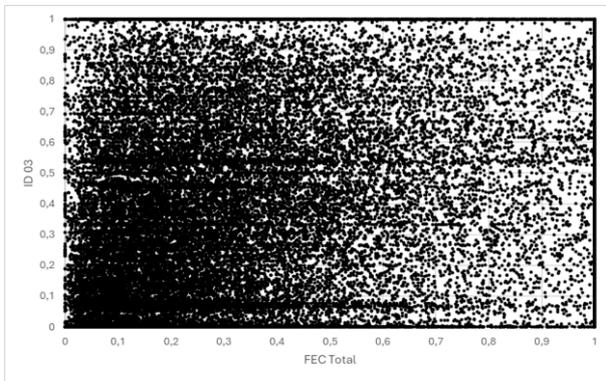
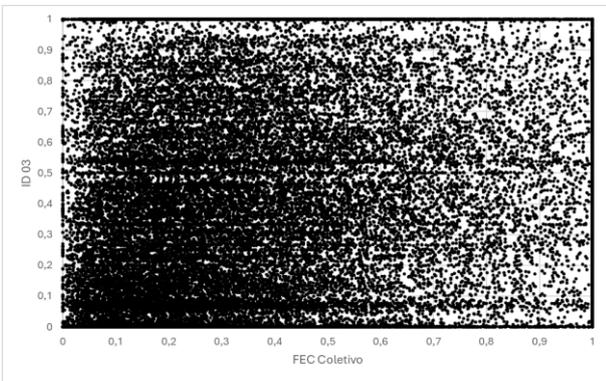
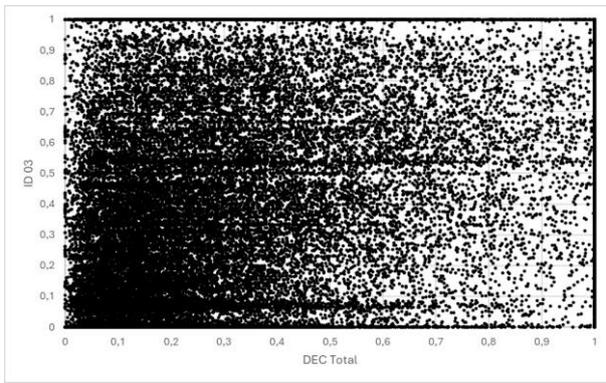
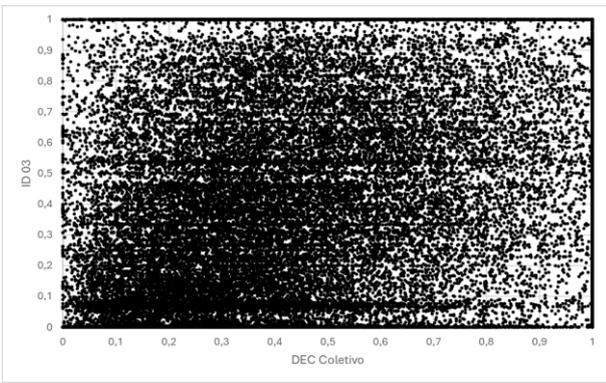
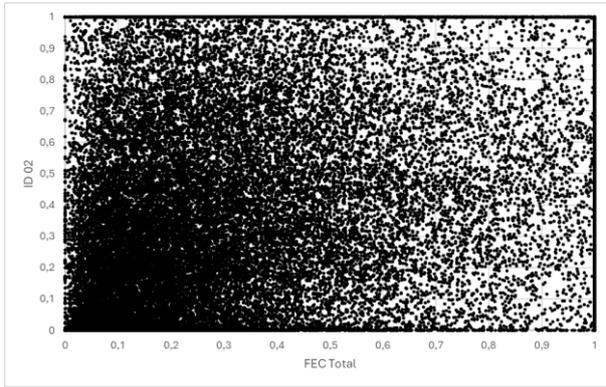
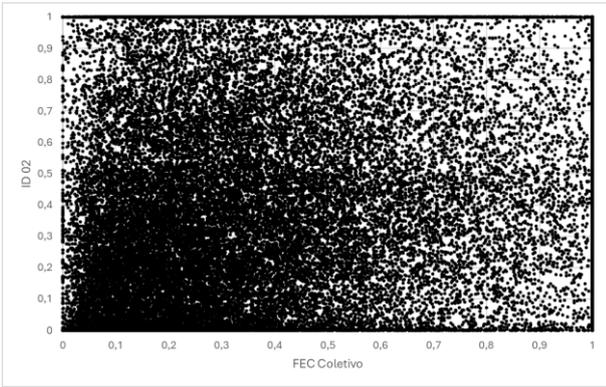


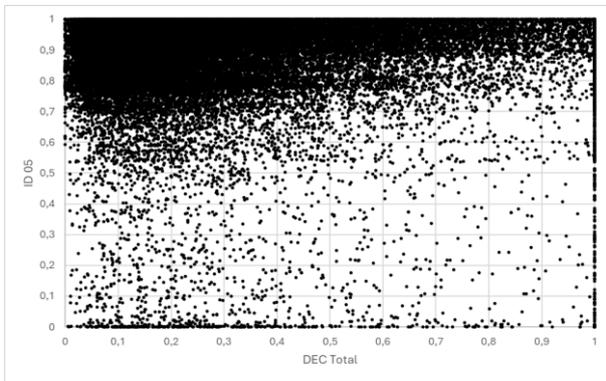
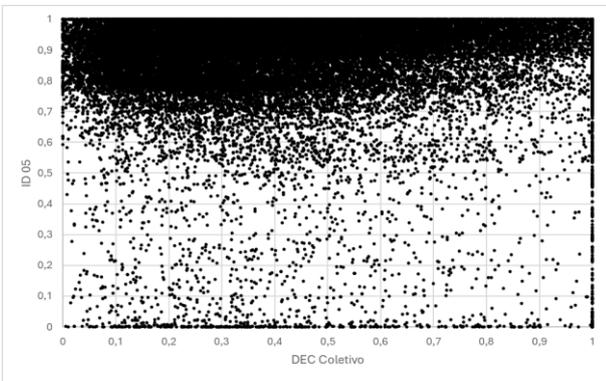
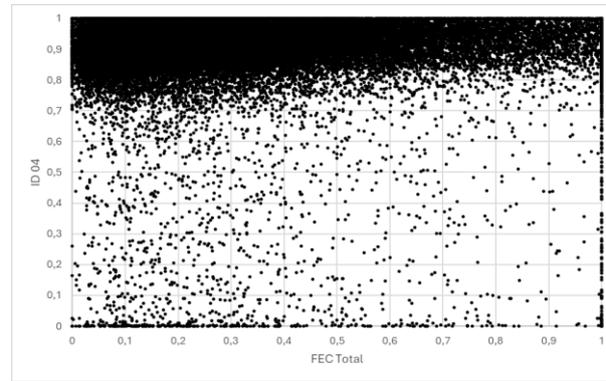
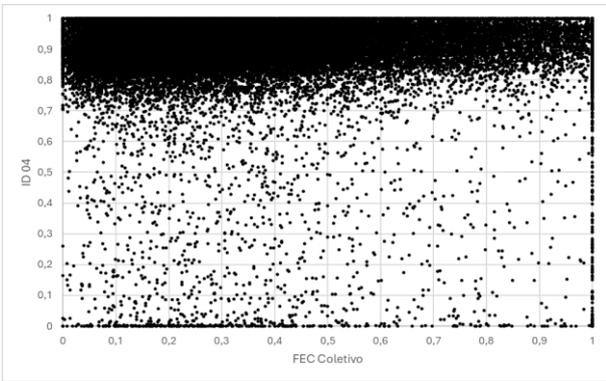
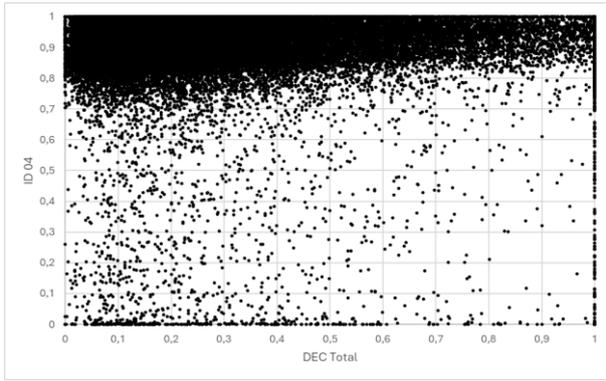
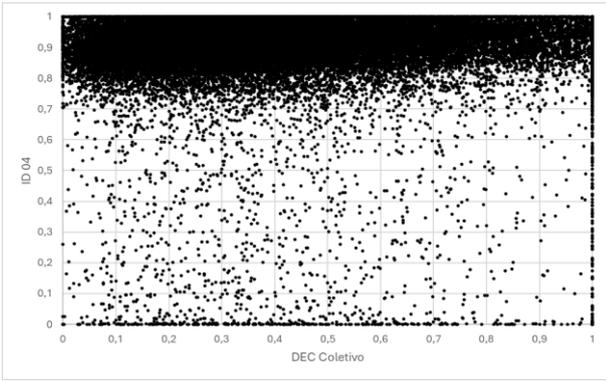


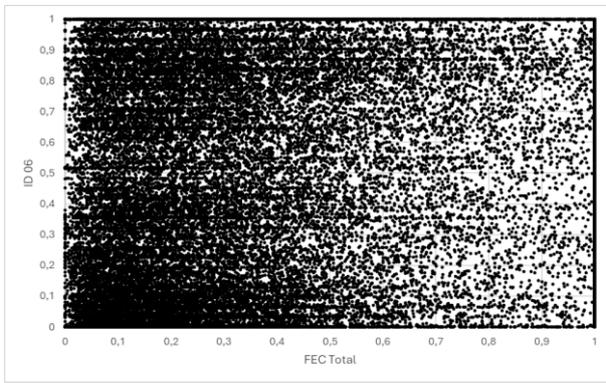
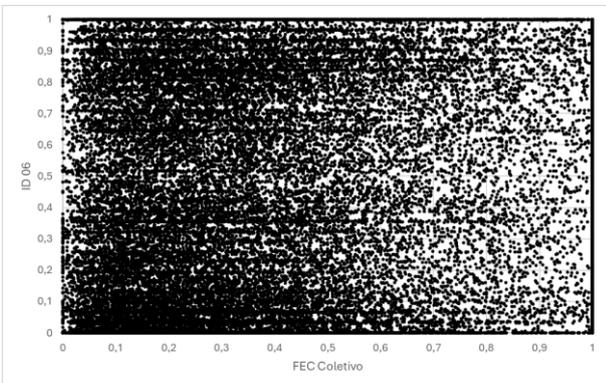
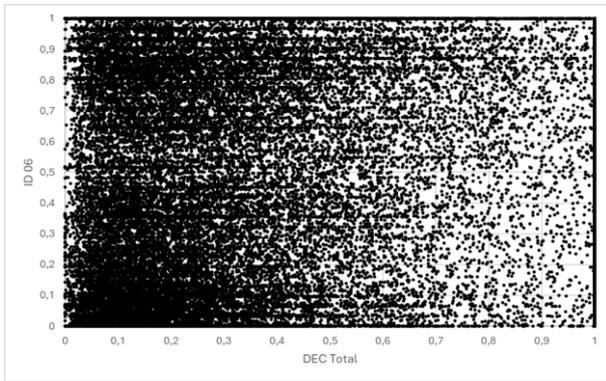
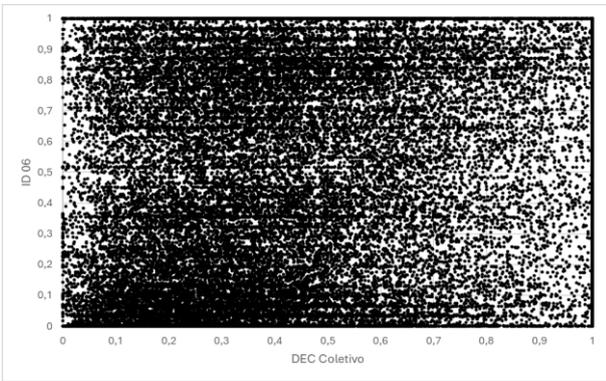
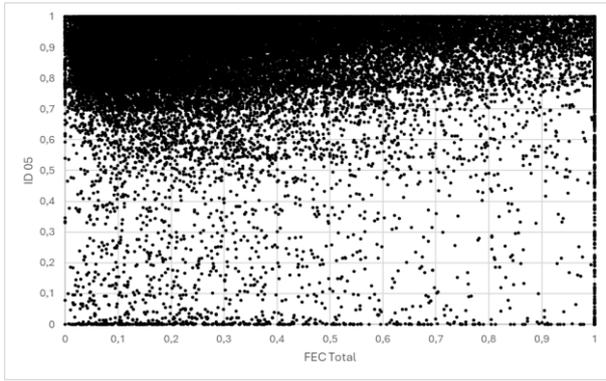
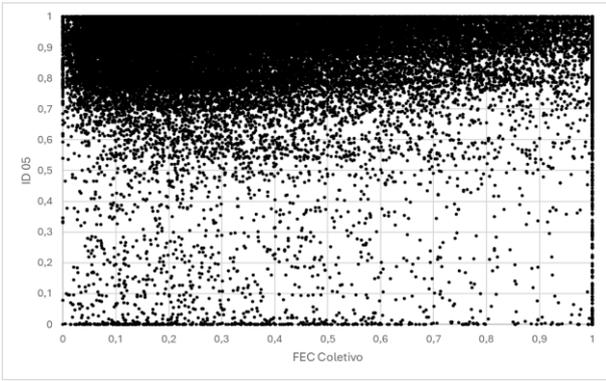


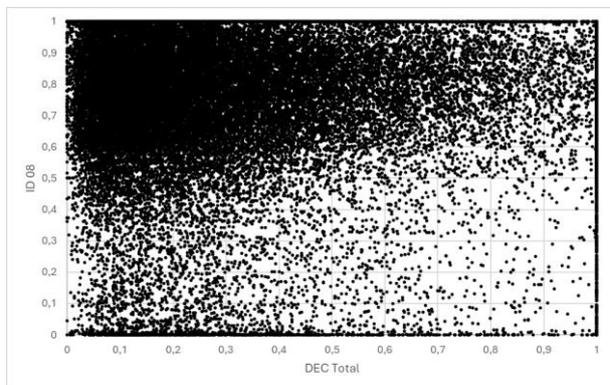
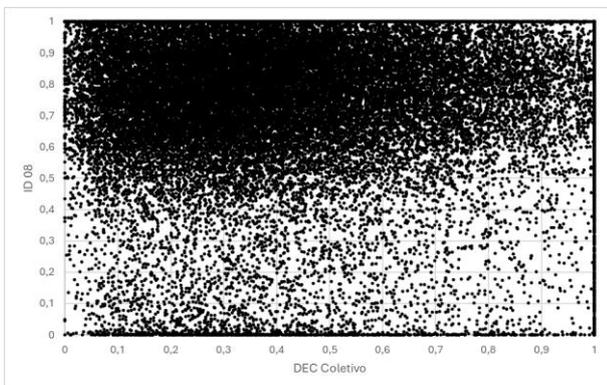
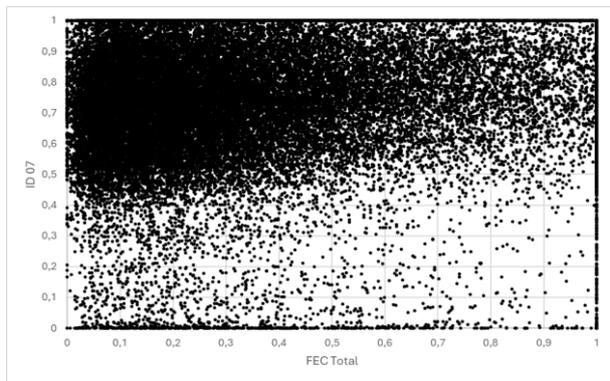
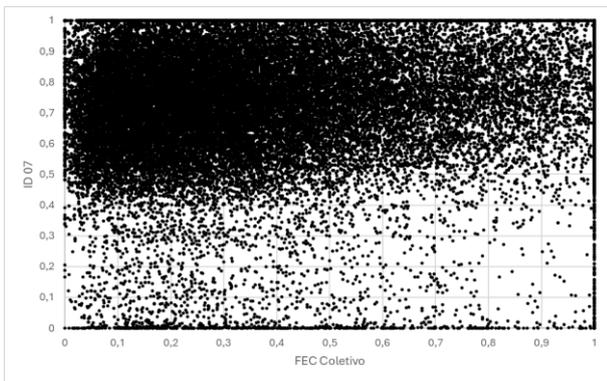
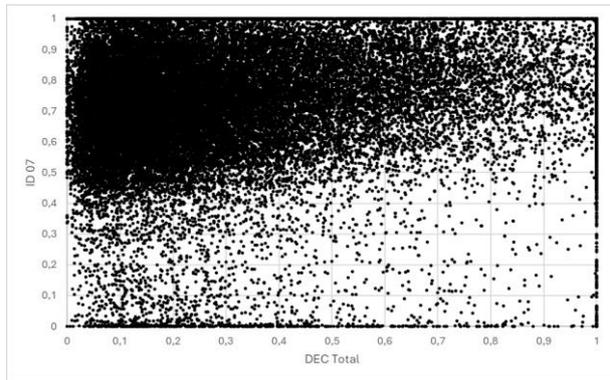
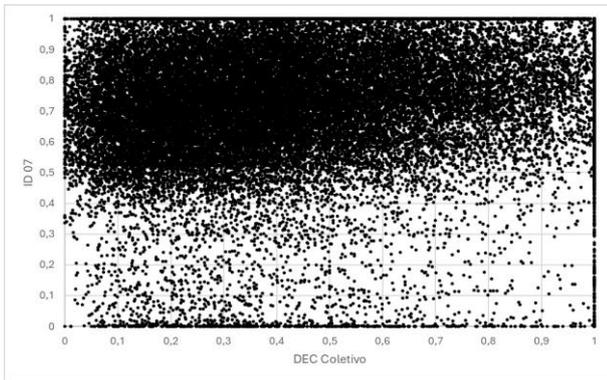
6.2 GRÁFICOS DE DISPERSÃO 2018

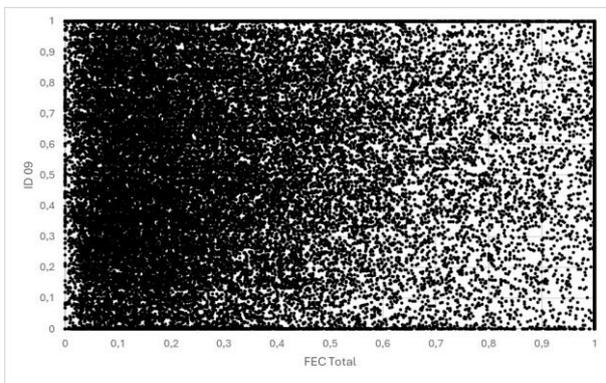
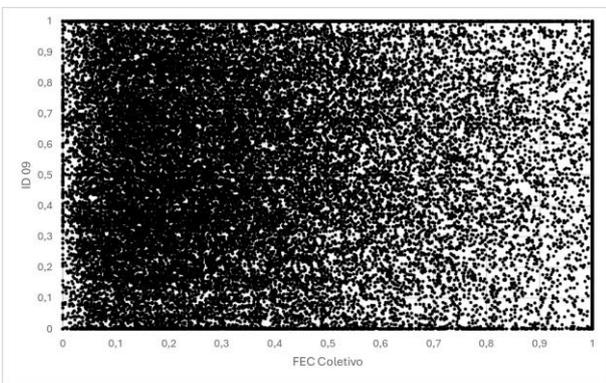
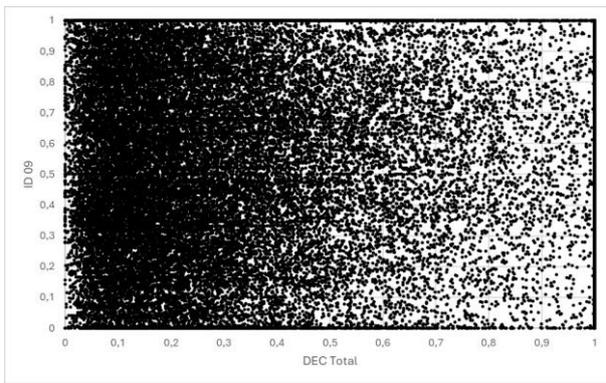
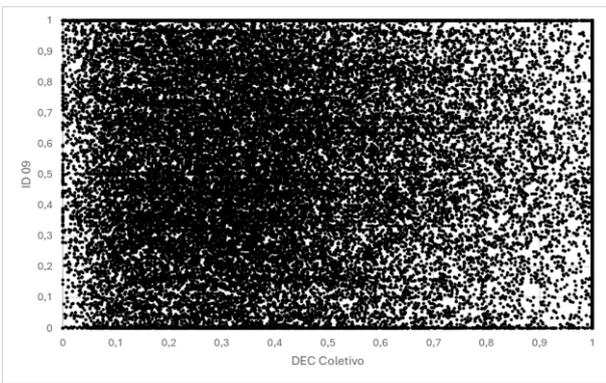
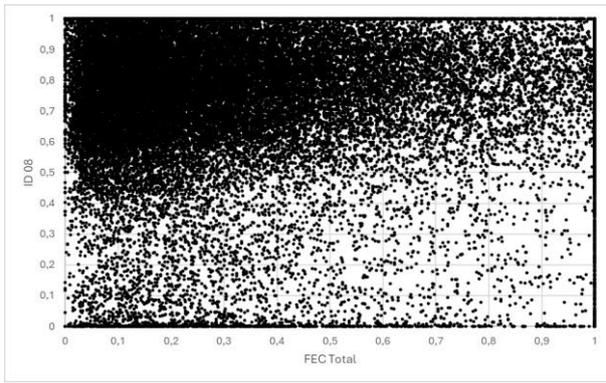
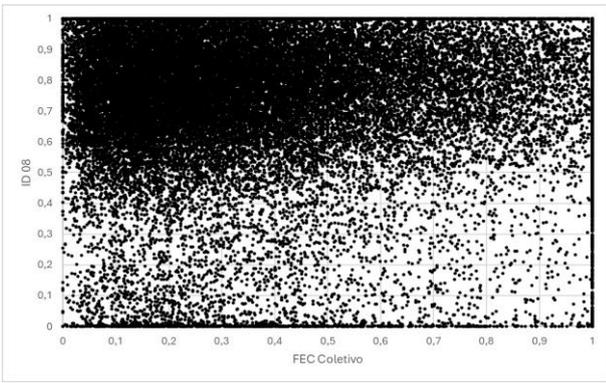




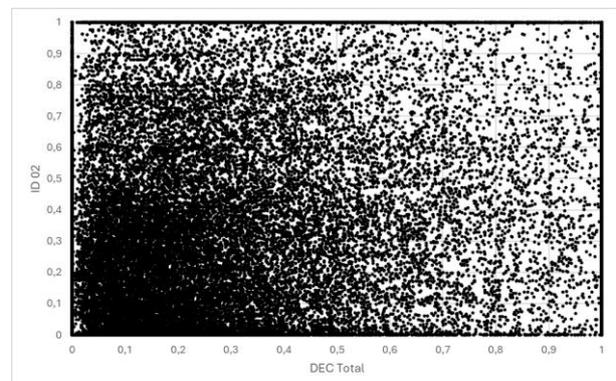
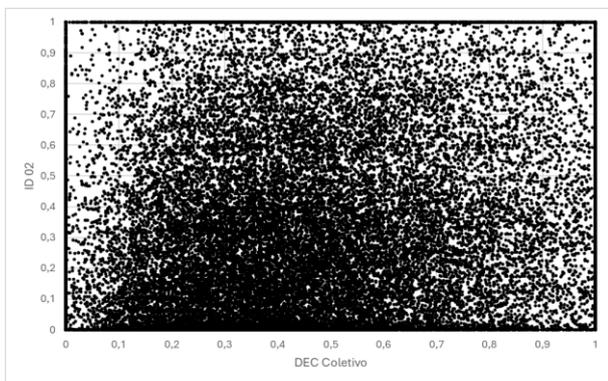
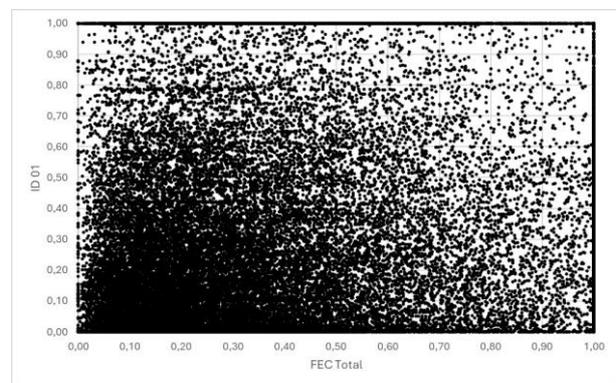
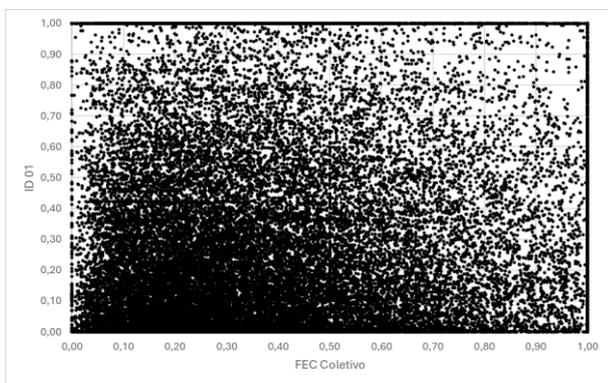
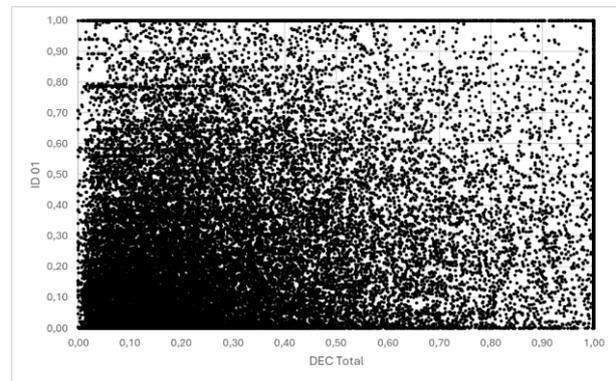
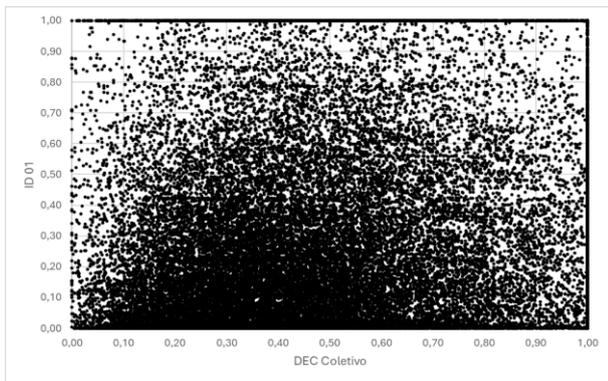


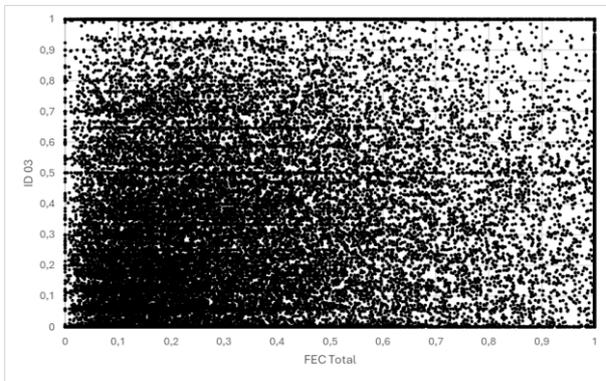
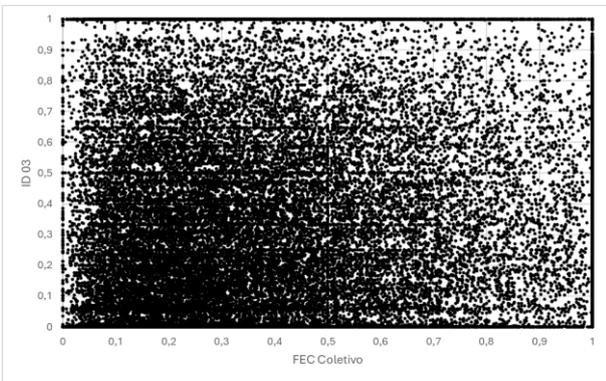
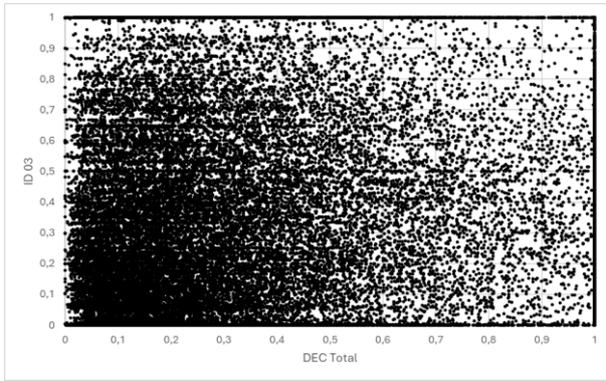
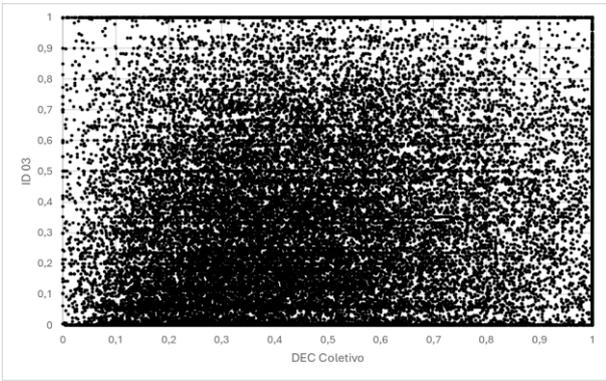
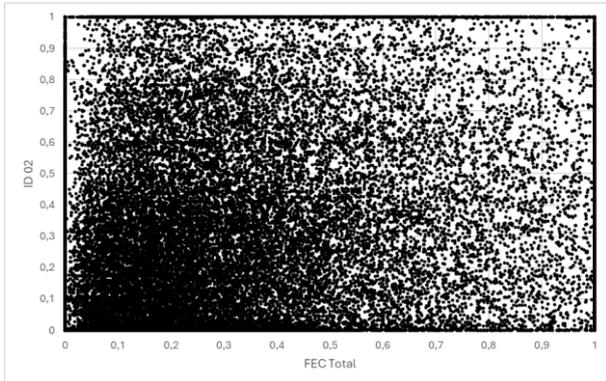
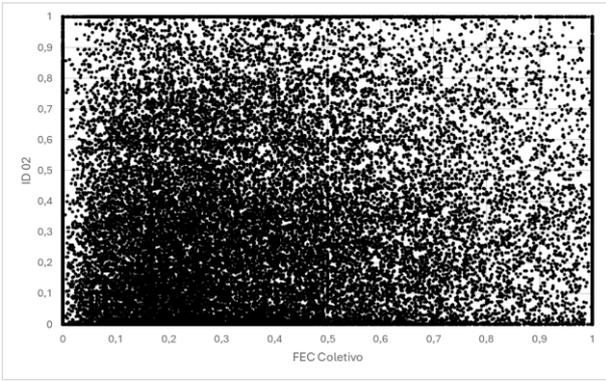


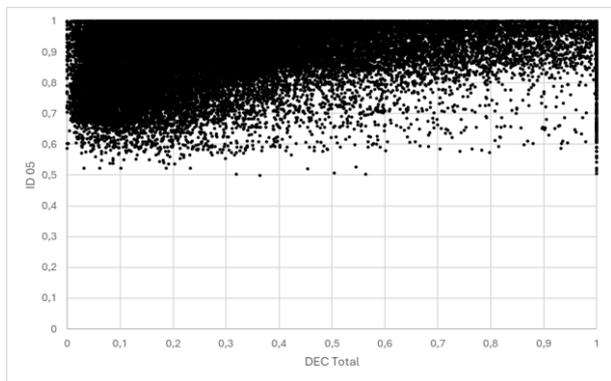
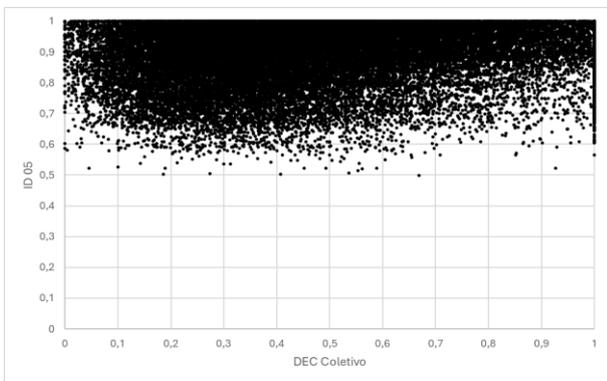
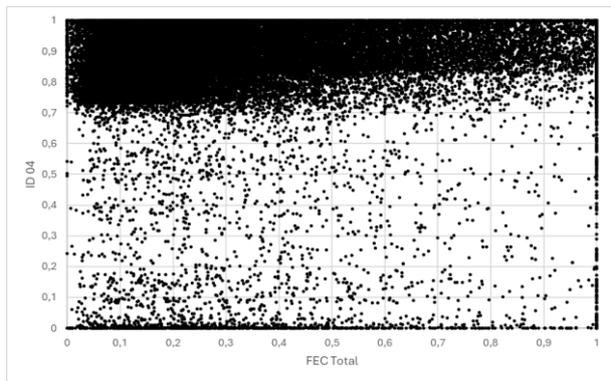
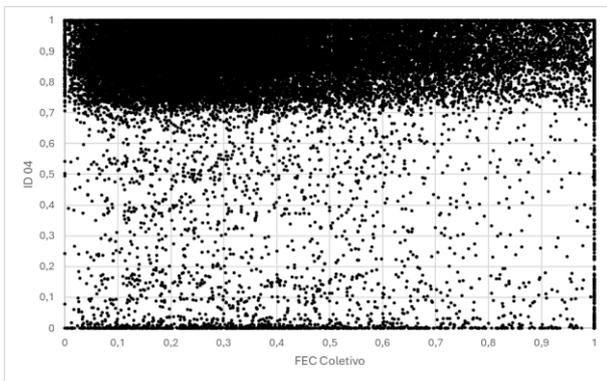
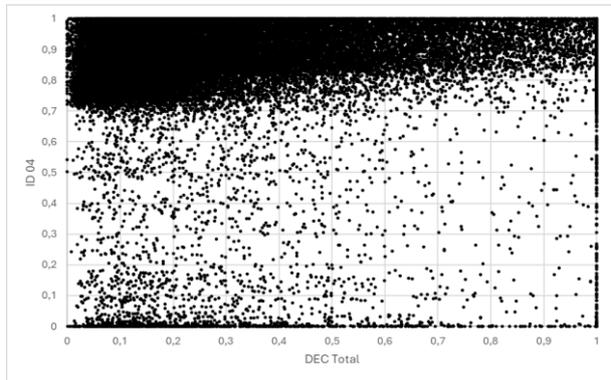
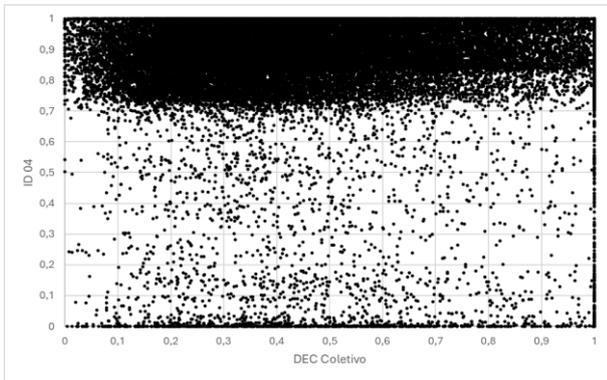


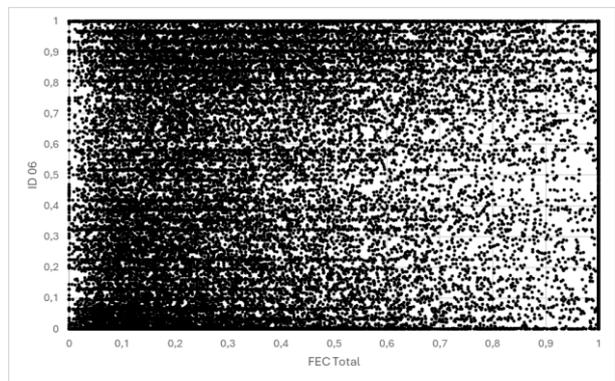
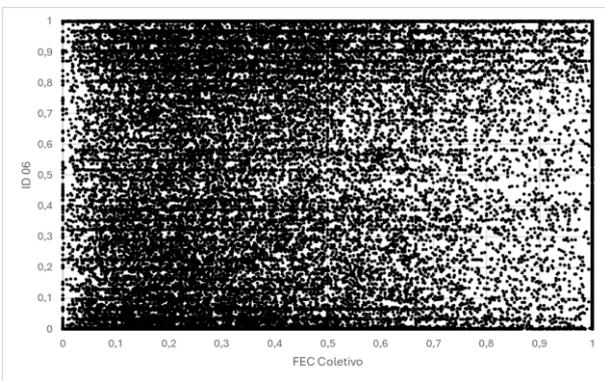
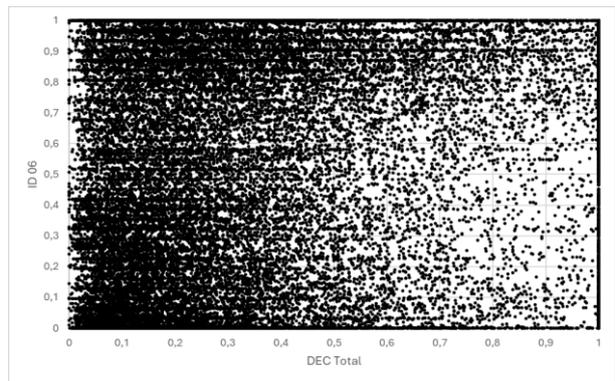
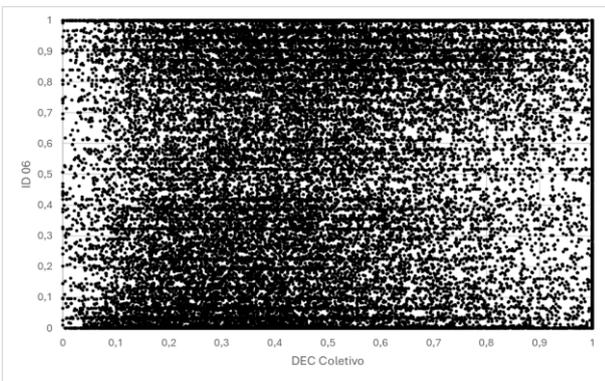
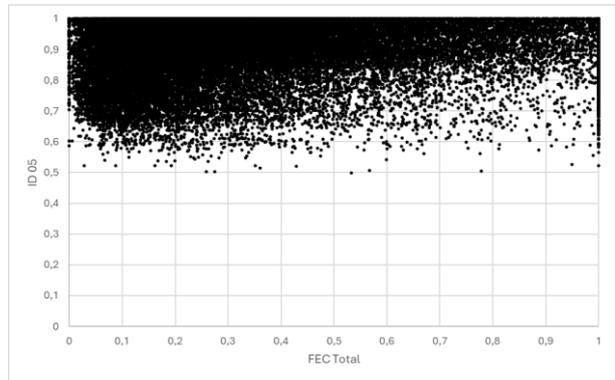
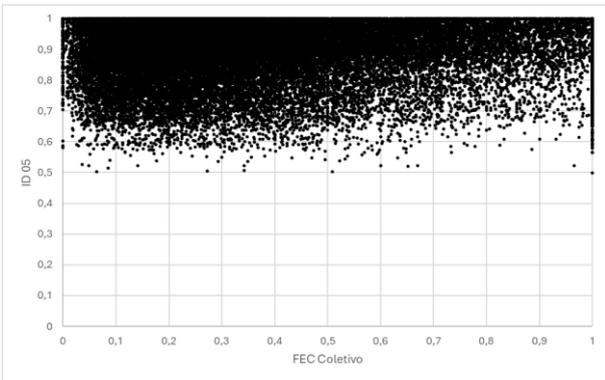


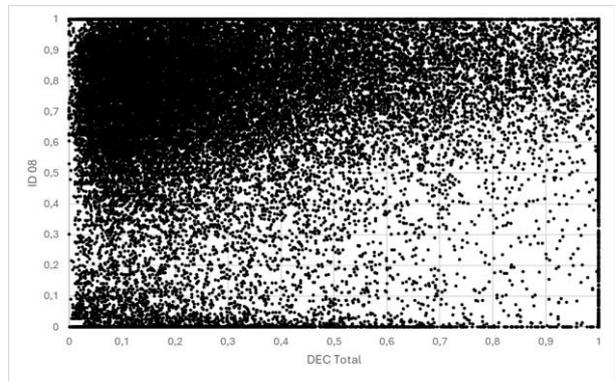
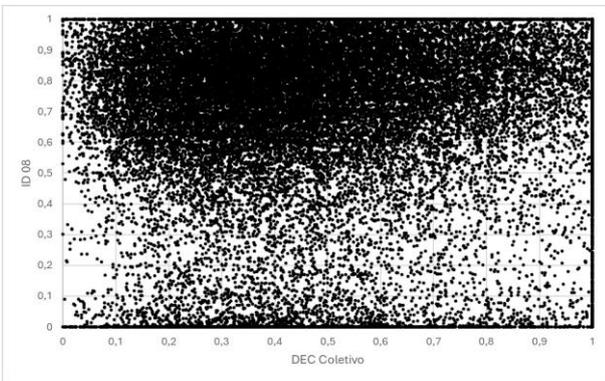
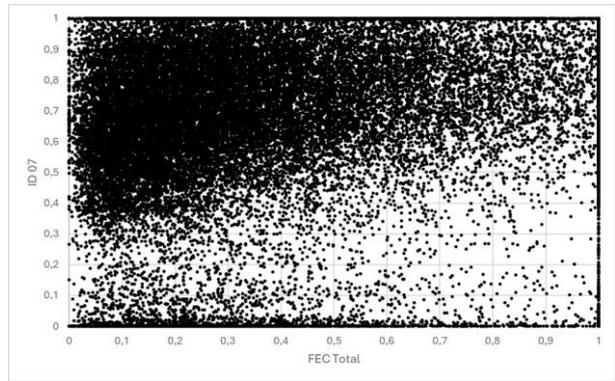
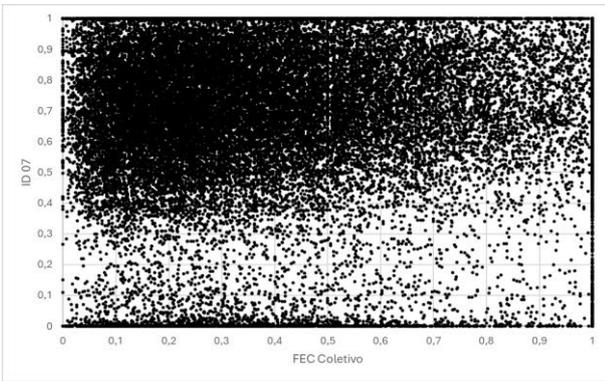
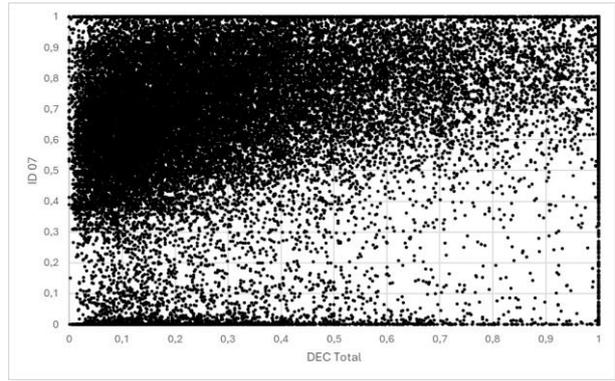
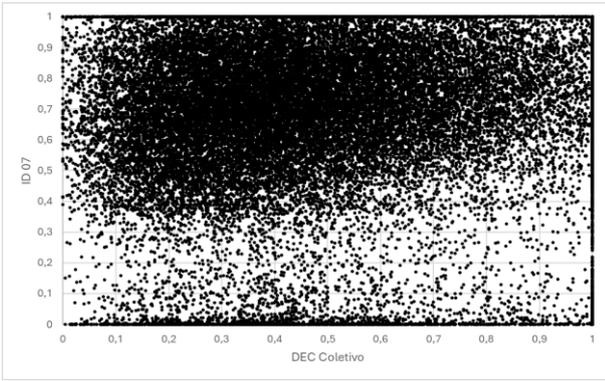
6.3 GRÁFICOS DE DISPERSÃO 2023

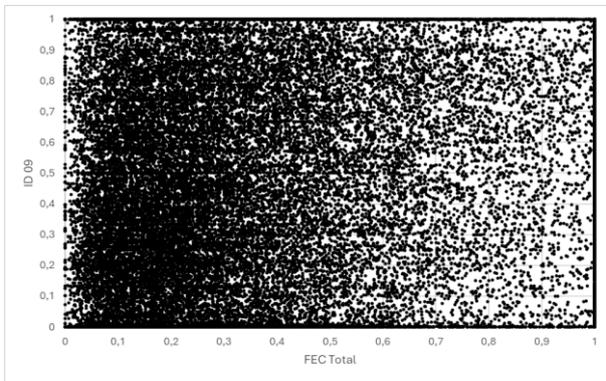
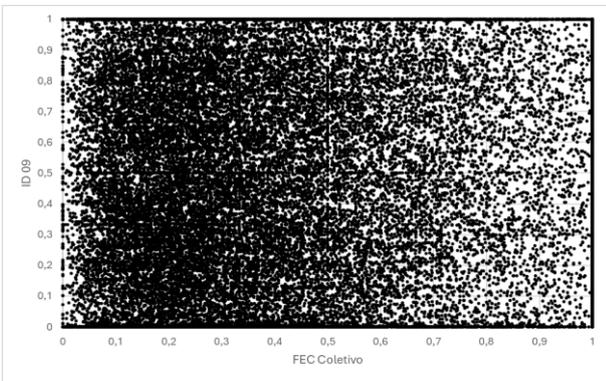
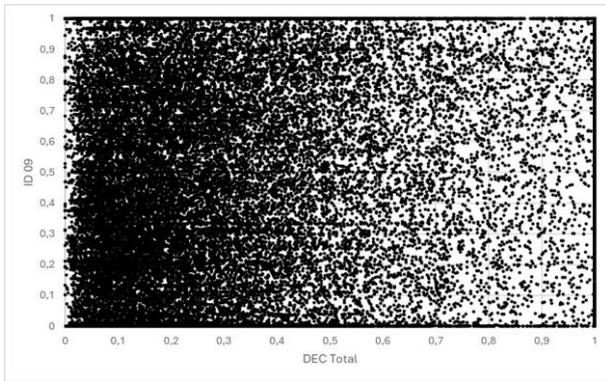
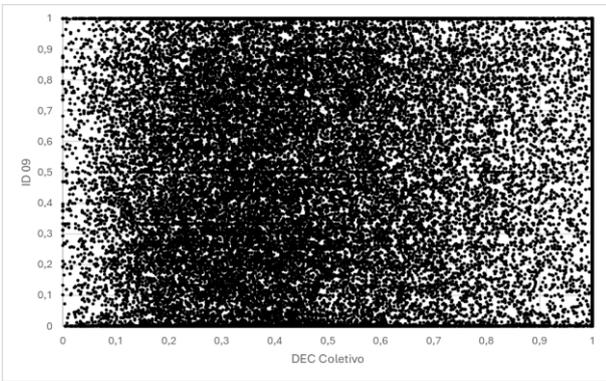
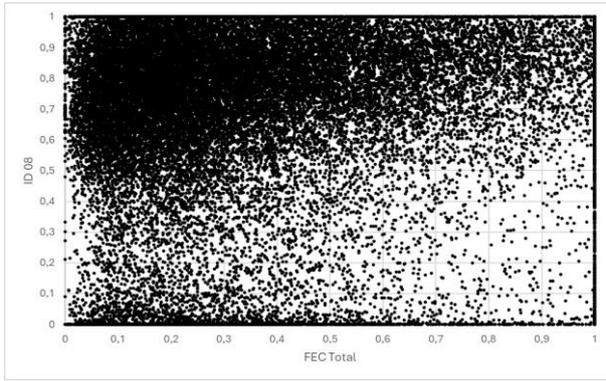
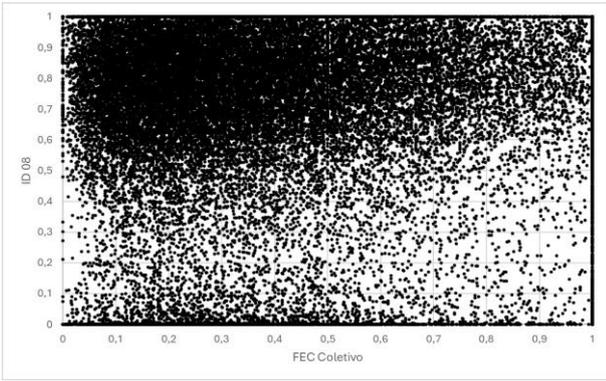












REFERÊNCIAS

ABRADEE. **Contribuição à Audiência Pública nº 01/2005**. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/audiencias-publicas-antigas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=22151&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp>. Acesso em: 10 abr. 2024.

ANEEL aplica multa de R\$ 165 milhões por falhas no restabelecimento de Energia em São Paulo após temporal do dia 03/11/23. **Notícias ANEEL**, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/aneel-aplica-multa-de-r-165-milhoes-por-falhas-no-reestabelecimento-de-energia-em-sao-paulo-apos-temporal-do-dia-03-11-23>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

ANEEL apresenta no Senado Federal ações para superar escassez hídrica e reduzir impactos na tarifa de energia. **Notícias ANEEL**, 2021a. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/aneel-apresenta-no-senado-federal-acoes-para-superar-escassez-hidrica-e-reduzir-impactos-na-tarifa-de-energia>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

ANEEL. **Dados Abertos - Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 2 abr. 2024b.

ANEEL. **Nota técnica nº 7 de 02 de fevereiro de 2024**. Abertura de Tomada de Subsídios com a finalidade de obter contribuições para aprimoramentos regulatórios associados ao aumento da resiliência do sistema de distribuição e de transmissão a eventos climáticos extremos, 2024c. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/tomadas-de-subsidios?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=52615&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp>. Acesso em: 23 fev. 2024.

ANEEL. **Nota técnica nº 53 de 28 de outubro de 2020**. Apresentar a análise das contribuições recebidas na Consulta Pública nº 38/2019, que debateu a revisão da regulamentação de continuidade do fornecimento de energia elétrica, 2020. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=41382&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase>

&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp
>. Acesso em: 05 abr. 2024.

ANEEL. **Nota técnica nº 71 de 12 de dezembro de 2011.** Resultados da Audiência Pública n. 064/2011 relativa ao aprimoramento dos aspectos relacionados ao dia crítico, conforme estabelecido na Seção 8.2 do Módulo 8 do PRODIST. Disponível em: <
[ANEEL. **Nota técnica nº 130 de 12 de novembro de 2009.** Resultados da Audiência Pública nº 033/2009 relativa à primeira revisão dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em:
<
\[ANEEL. **Nota técnica nº 136 de 20 de dezembro de 2021.** Abertura de Tomada de Subsídios para o recebimento de contribuições sobre o item 6 da Agenda Regulatória 2021/2022 - Avaliar aprimoramento na regulamentação de estabelecimento de limites de continuidade do fornecimento de energia elétrica, 2021a. Disponível em: <
\\[ANEEL. **Nota técnica nº 226 de 04 de novembro de 2008.** Resultados da Audiência Pública AP 014/2008 relativa aos Procedimentos de Distribuição - PRODIST, 2008a. Disponível em: <\\]\\(https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/tomadas-de-subsidios?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=45564&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp>. Acesso em: 17 fev. 2024.</p></div><div data-bbox=\\)\]\(https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/audiencias-publicas-antigas?p_auth=vPBk0mU9&p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idParticipacaoPublica=402&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_javax.portlet.action=visualizarParticipacaoPublica> . Acesso em: 30 mar. 2024.</p></div><div data-bbox=\)](https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/audiencias-publicas-antigas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=20292&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp#:~:text=Esta%20Nota%20T%C3%A9cnica%20visa%20apresentar,no%20Sistema%20EI%C3%A9trico%20Nacional%20%E2%80%93%20PRODIST.> . Acesso em: 30 mar. 2024.</p></div><div data-bbox=)

ANEEL. **Painel de Indicadores de Continuidade**. Disponível em: <<https://portalrelatorios.aneel.gov.br/hubDistribuicao/reportIndicadoresContinuidade#!>>. Acesso em: 14 jan. 2024d.

ANEEL realiza reunião com as distribuidoras de energia elétrica para definir ações imediatas para o enfrentamento de eventos climáticos severos. **Notícias ANEEL**, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-realiza-reuniao-com-as-distribuidoras-de-energia-eletrica-para-definir-acoes-imediatas-para-o-enfrentamento-de-eventos-climaticos-severos>> . Aceso em: 23 fev. 2024.

ANEEL. **Resolução nº 024 de 27 de janeiro de 2000**. Estabelece as disposições relativas à Continuidade da Distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras. Brasília: ANEEL, 2000.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 345 de 16 de dezembro de 2008**. Aprova os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST, e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2008b.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 641 de 16 de dezembro de 2014**. Aprova a Revisão 9 do Módulo 6 e a Revisão 6 do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Brasília: ANEEL, 2014.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 664 de 16 de junho de 2015**. Aprova as alterações dos Módulos 1, 6 e 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Brasília: ANEEL, 2015.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 925 de 16 de março de 2021**. Aprova a revisão dos Módulos 1, 6 e 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST e dos Submódulos 2.5 e 2.5A dos Procedimentos de Regulação Tarifária - PRORET. Brasília: ANEEL, 2021b.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 956 de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, revoga as Resoluções Normativas nº 395, de 15 de dezembro de 2009; nº 424, de 17 de dezembro de 2010; nº 432, de 5 de abril de 2011 e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2021c.

ARTAXO, Paulo. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 34, p. 53-66, 2020.

BARBADO, Norma; LEAL, Antonio Cezar. Cooperação global sobre mudanças climáticas e a implementação do ODS 6 no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e29110313290-e29110313290, 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. Disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1996.

BRASIL. **Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000**. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2000.

BRASIL. **Decreto nº 10.569 de 9 de dezembro de 2020**. Aprova a Estratégia Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2020.

BUSTAMANTE, Mercedes. Soluções baseadas na natureza e a redução da vulnerabilidade de infraestruturas críticas frente às mudanças do clima. **CEP**, v. 71, p. 50, 2022.

CAMBRAIA, Duda. Chuvas no RS: quase 14 mil foram afetados pelo temporal no estado. **CNN**, 2024. Disponível em: < <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/chuvas-no-rs-quase-14-mil-foram-afetados-pelo-temporal-no-estado/>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

CARVALHO, Cleide; ROSÁRIO, Mariana. SP tem tarde com temporal e ventania de 100 km/h. **O Globo** — São Paulo, 2023. Disponível em: < <https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2023/11/03/temporal-e-ventania-em-sp-derrubam-arvores-e-danificam-transformadores-da-rede-eletrica.ghtml>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

CEMADEN. Ameaças Naturais. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**, 2016. Disponível em: <Ameaças Naturais – Cemaden>. Acesso em: 05 abr. 2024.

CHUVAS deixam mais de 28 mil pessoas fora de casa, cidades alagadas e mortos: veja os transtornos no RS. **G1 RS e RBS TV**, 2023a. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2023/11/20/chuvas-desalojados-cidades-alagadas-e-mortos-transtornos-no-rs.ghtml>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

CHUVAS em São Paulo: ANEEL participa de reunião com distribuidoras e governo do estado e anuncia abertura de processo de fiscalização. **Notícias ANEEL**, 2023b. Disponível em: < <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/chuvas-em-sao-paulo-aneel-participa-de-reuniao-com-distribuidoras-e-governo-do-estado-e-anuncia-abertura-de-processo-de-fiscalizacao>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

COSTA, Rafaela Lisboa et al. Cenários de Mudanças Climáticas para a Região Nordeste do Brasil por meio da Técnica de Downscaling Estatístico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. spe, p. 785-801, 2020.

DA PAIXÃO, Joelson Lopes et al. QUALIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA: QUALIDADE DO SERVIÇO. **Salão do Conhecimento**, 2019.

DE MENDONÇA, Mário Jorge Cardoso et al. **Avaliando a qualidade dos serviços de distribuição de energia elétrica no Brasil**. Texto para Discussão, 2022.

DIAS, Luanna Costa; DA CRUZ VALENTE, Alexandre Miguel; FERNANDES, Lindemberg Lima. Análise e correlação de variáveis climatológicas com os fenômenos climáticos e a urbanização na Cidade

de Belém, no Estado do Pará, região Norte do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e972986790-e972986790, 2020.

DNAEE, **Portaria nº 046 de 17 de abril de 1978**. Estabelece as disposições relativas à continuidade de serviço a serem observadas pelos concessionários de serviço público de energia elétrica, no fornecimento e energia elétrica a seus consumidores. Brasília: DNAEE, 1978.

DOS SANTOS, C. E. S. **METODOLOGIA PARA ESTIMAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE INVESTIMENTOS NA REDE E INDICADORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**. [s.l.] Universidade Federal Fluminense, 2020.

EVENTOS climáticos no RS: ANEEL participa de reunião com Governo do Estado, prefeituras e distribuidoras. **Notícias ANEEL**, 2024. Disponível em: < <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/eventos-climaticos-no-rs-aneel-participa-de-reuniao-com-governo-do-estado-prefeituras-e-distribuidoras>> . Acesso em: 20 fev. 2024.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FREITAS, Wilhan et al. Análise da Relação de Condições Meteorológicas e a Confiabilidade de Fornecimento de Energia na Distribuição. 2023.

GARDIMAN, Benvindo Sirtoli et al. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES) Analysis of interpolation techniques for spatial rainfall distribution in river basin Itapemirim (ES). **Ambiência**, v. 8, n. 1, p. 61-71, 2012.

INMET. **Mapa de Estações**. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/#>>. Acesso em: 8 abr. 2024.

IPCC. **Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023.

LIRA, S. A. **ANÁLISE DE CORRELAÇÃO: ABORDAGEM TEÓRICA E DE CONSTRUÇÃO DOS COEFICIENTES COM APLICAÇÕES**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, fev. 2004.

MARCOS, Antonio Duarte et al. Classificação climática de Thornthwaite para o Brasil com base em cenários de mudanças climáticas do IPCC-AR5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 4, p. 647-664, 2018.

MARTINS, Maria Eugénia Graça; RODRIGUES, J. F. Coeficiente de correlação amostral. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 2, p. 34-36, 2014.

MAZZINI, Piero Luigi Fernandes; SCHETTINI, Carlos Augusto França. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.

MENEZES, C. Milhares de Porto Alegre e cidades próximas atingidas pelas enchentes já estão no nosso Estado. **Ndmais**, 2024. Disponível em: <<https://ndmais.com.br/seguranca/milhares-de-porto-alegre-e-cidades-proximas-atingidas-ja-estao-no-nosso-estado/>>. Acesso em: 27 mai. 2024.

MUNHOZ, F.; NESTLEHNER, C. Antes e depois: imagem de satélite mostra efeito devastador da chuva no RS; veja. **CNN Brasil**, 2024. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/antes-e-depois-imagem-de-satelite-mostra-efeito-devastador-da-chuva-no-rs-veja/>>. Acesso em: 27 mai. 2024.

PESSANHA, J. F. M. **UM MODELO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS PARA ESTABELECIMENTO DAS METAS DE CONTINUIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA**. [s.l.] PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO, 2006.

RESENDE, V.F.C.; SANTOS, W.F.; VIEIRA, A.G. Fatores Externos que Interferem nos Indicadores de Continuidade do Fornecimento de Energia Elétrica. **Revista Científica do ITPAC** V.15, n1, pub.2, fevereiro de 2022. DOI: 10.29327/231587.15.1-2

RESILIÊNCIA das redes e eventos climáticos extremos: ANEEL promoverá evento para discutir o tema. **Notícias ANEEL**, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/aneel-promovera-evento-para-discutir-a-resiliencia-das-redes-diante-de-eventos-climaticos-extremos>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

ROCKSTRÖM, Johan; STEFFEN, Will; NOONE, Kevin; PERSSON, Åsa; CHAPIN, F. Stuart; LAMBIN, Eric F.; LENTON, Timothy M.; SCHEFFE, Marten; FOLKE, Carl; SCHELLNHUBER, Hans Joachim. A safe operating space for humanity: identifying and quantifying planetary boundaries that must not be transgressed could help prevent human activities from causing unacceptable environmental change, argue johan rockström and colleagues. **Nature**, [s. l.], v. 461, p. 472-475, 24 set. 2009.

SARMENTO, Francisco Jácome; DE SOUZA, Alan Pinheiro. ANÁLISE CORRELACIONAL ENTRE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E A PRECIPITAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **ANAIS do XXIV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ISSN: 2318-0358. Belo Horizonte, 2021.

SILVA, Roberto Omena Barbosa da; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; SOUZA, Weronica Meira de. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 579-589, 2017.

SILVESTRE, MIRIAM RODRIGUES. QUAL TESTE DE CORRELAÇÃO É MAIS ADEQUADO: PEARSON OU SPEARMAN?. **ANAIS do X SIMPÓSIO BRASILEIROS DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA**, p. 1965 – 1977. Manaus, 2012.

SOUZA, J. L. L. L. et al. Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão/Bahia. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 15, p. 4295-4302, 2011.

TEIXEIRA, Rylanneive Leonardo Pontes; PESSOA, Zoraide Souza; DI GIULIO, Gabriela Marques. Cidades, mudanças climáticas e adaptação: um estudo de caso de Natal/RN, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 54, 2020.

TRINDADE, Pedro; LOPES, Janaína. Contraste térmico e El Niño: especialistas explicam sequência de 9 ciclones no RS em 3 meses. **G1 RS**, 2023. Disponível em: < <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2023/09/28/contraste-termico-e-el-nino-especialistas-explicam-sequencia-de-9-ciclones-no-rs-em-3-meses.ghml> > . Acesso em: 23 fev. 2024.

VIEIRA, Obed Leite et al. Uso de testes de hipóteses para verificar a relação entre chuvas e interrupções no fornecimento de energia elétrica no sistema de distribuição. **Revista Tecnologia**, v. 41, n. 1, 2020.

VIOLA, Marcelo R. et al. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 970-978, 2010.