

CrossRef DOI of original article:

# Correlations between Meteorological Phenomena and Interruptions in the Supply of Electric Energy in a Power Supplier

Ana Julia Righetto

Received: 1 January 1970 Accepted: 1 January 1970 Published: 1 January 1970

---

## Abstract

There are several technologies in the area of engineering, new and old, currently used with the objective of reducing the impacts of meteorological phenomena on electrical energy distribution networks. However, they still constitute one of the biggest challenges for companies around the world, the mitigation of the number of interruptions in the energy supply, in the face of the weather. This research work seeks something similar, which is to offer another analysis, from the point of view of data science, studying the correlation between the meteorological phenomena recorded by the Climatempo Monitoring and Alert System and the interruptions in the energy supply in two main cities of Maranhão State, with unknown causes, recorded by the control system used by the integrated operations center of the local power supplier, in an attempt to find some kind of fragility in the electrical system, not yet identified, that allows its improvement.

---

**Index terms**— DEC, FEC, clima, transformadores de distribuição.

expurgado dos resultados das distribuidoras de energia nos cálculos da agência reguladora, e os fenômenos climáticos, ou meteorológicos que por ventura derrubem o sistema, como descargas elétricas, ventanias, entre outros fatores.

Segundo Silva (2013), em nosso país, aproximadamente 70% dos desligamentos na transmissão e 40% na distribuição, são provocados por raios, sendo o número de transformadores queimados por descargas elétricas atmosféricas em torno de 40%. Tais números causam um impacto considerável no fornecimento de energia, o que pode ser constatado pela alta correlação entre a incidência de descargas elétricas e os índices de qualidade da maioria das empresas do setor elétrico.

No trabalho de Wronski et al (2003), após a utilização de modelos estatísticos, foram encontradas evidências de maior número de atendimentos e maior tempo médio de atendimento nas chamadas emergenciais de interrupção no fornecimento para a condições meteorológicas de vento e chuva, enquanto houve um menor número para a condição temperatura.

A distribuidora de energia do Maranhão, que durante anos permaneceu entre as três melhores empresas do país no quesito qualidade no fornecimento de energia, despencou em 2021 para os últimos lugares, de acordo com o último ranking divulgado pela [ANEEL] (2022). A empresa acredita que isto não se deve aos investimentos realizados na rede, que na verdade, ano após ano são cada vez maiores, mas se deve a um ano atípico de muitos registros de fortes precipitações, enchentes, ventanias, descargas elétricas atmosféricas, entre outros fenômenos climáticos.

Este trabalho tem como objetivo verificar e quantificar a correlação entre os fenômenos meteorológicos e a quantidade de ocorrências de interrupção no fornecimento de energia elétrica registradas pelo centro de operações integradas da distribuidora energética do Estado do Maranhão, para os municípios de São Luís e Imperatriz.

## 1 II. Material e Métodos

O princípio que irá nortear este trabalho de pesquisa, a formar a base de dados final para estudos, ou seja, após a fase de "data wrangling", é que esta base de dados reflita muito bem o fenômeno a ser estudado, que

## 2 FONTE: GOVERNO FEDERAL (2022) FIGURA 1: RECORTE DO RESULTADO DO [DEC] EM 2021

---

45 é a interrupção no fornecimento de energia, que seja capaz de explicar o preceito principal de que, apesar das  
46 dificuldades enfrentadas particularmente no país, em suma, o fornecimento de energia elétrica passa mais tempo  
47 em continuidade do fornecimento, do que interrompido, ou suspenso.

48 Para se ter uma dimensão sobre tal fato, o indicador do [DEC] em 2021, valor apurado na média para todo o  
49 Brasil, segundo o Governo Federal (2022), ficou em 11,84 horas. Em outras palavras, de um total de 8.760 horas  
50 do ano de 2021, em 99,86% do tempo a energia esteve em pleno fornecimento, sem interrupção, no Brasil inteiro,  
51 como pode ser constatado na Figura 1.

## 52 2 Fonte: Governo Federal (2022) Figura 1: Recorte do Resultado do [DEC] em 2021

54 Ainda que o resultado para o Maranhão tenha ficado acima deste valor, registrando 29 horas, estando 99,67% do  
55 tempo em pleno fornecimento, conforme informado pelo distribuidora de energia em seu site de relacionamento  
56 com os investidores, em março de 2022, este número continua apontando para um fato supra relevante: a base  
57 de dados deve dar alicerce para realizar o estudo de um fenômeno raro, ou seja, que além dos dados sobre as  
58 interrupções no fornecimento de energia, a base deve possuir cada hora em que o fenômeno não aconteceu, o  
59 período em que o fornecimento de energia não foi interrompido.

60 Seguindo esta premissa, este trabalho de pesquisa experimental, vem trabalhar a hipótese da existência de  
61 uma correlação entre os fenômenos meteorológicos, e a quantidade de vezes em que o sistema elétrico teve  
62 sua distribuição interrompida, porém somente dos dados sinalizados como causa desconhecida, atendida por  
63 transformadores de distribuição, em dois municípios do Estado do Maranhão.

64 O centro de operações integradas[COI], setor responsável por manter o sistema de distribuição de energia  
65 elétrica em pleno atendimento para a população maranhense, possui em seus controles, uma base de registros  
66 de interrupções do fornecimento de energia, e seus equipamentos afetados, chamados de componentes, com  
67 informações que caracterizam em detalhe a sua tipificação, informações a princípio muito relevantes para esta  
68 pesquisa para verificarmos se há um padrão de componentes mais suscetíveis, ou não, às intemperes climáticas.

69 Com autorização da empresa, foram colhidos dados dos últimos doze meses, compreendidos entre agosto de  
70 2021 e julho de 2022, somente dos equipamentos de transformadores de distribuição, já que toda interrupção  
71 de energia, que afete o bem-estar dos consumidores, acaba passando por este tipo de equipamento, segundo o  
72 especialista do próprio setor.

73 Outro fato importante é que, com a ajuda deste especialista, foram excluídas desta amostra de dados, todas as  
74 interrupções de energia derivadas da intervenção humana, como acidentes de trânsito, desligamentos programados,  
75 sobrecargas do equipamento causadas pelo consumo, não realização de poda de árvores abaixo da rede elétrica,  
76 para citar alguns, o que deixa a base de informações mais limpa para a realização deste estudo, já que todas as  
77 interrupções citadas têm a sua causa conhecida, e registrada no sistema.

78 Coletada a primeira parte dos dados, a segunda parte foi fornecida junto com a área conhecida como  
79 geoprocessamento, e lá foram coletadas as informações a respeito do clima, para as mesmas cidades. A companhia  
80 de energia possui um contrato de prestação de serviços com a empresa Climatempo, e através do Sistema  
81 de Monitoramento e Alertas do Climatempo, com a autorização da distribuidora, foram coletadas também  
82 informações do mesmo período da base coletada anteriormente, referentes a pluviometria, descargas elétricas  
83 atmosféricas, rajadas de vento, velocidade média do vento ao longo do dia, temperatura média, máxima e mínima.

84 As variáveis possuem precisões diferentes para relatar o período em que aconteceram, variando entre a precisão  
85 da hora, minuto e segundo em que ocorreram, como os dados de interrupções de energia, e os dados das descargas  
86 elétricas atmosféricas, e até informação que trata de resultado válido pelo dia inteiro, como velocidade do vento,  
87 e as informações sobre temperatura. Todas foram colocadas na mesma escala de tempo, demonstrando os fatos  
88 ocorridos a cada uma hora do dia, durante 365 dias. Assim, foram criadas quatro variáveis para identificar o  
89 tempo: ano, mês, dia e hora.

90 Um fato importante é que tal base neste momento contém apenas informações relativas às interrupções, e como  
91 estava o clima naquele exato momento, entretanto, como já mencionado, ainda que uma distribuidora no território  
92 nacional tenha os piores indicadores de continuidade no fornecimento de energia, mesmo assim o sistema elétrico  
93 desta distribuidora hipotética estaria em pleno funcionamento na esmagadora parte do tempo. Desta forma, foram  
94 reproduzidos os dados que representam o período em que a energia estava em plena distribuição, para cada tipo  
95 diferente de transformador de distribuição, trazido na amostra de interrupções, com o mesmo período de tempo da  
96 amostra, em dias e horas, e devidamente cruzada com a base climatológica, para se conhecer as exatas condições  
97 do tempo neste mesmo exato período. Para diferenciar as duas informações na base de dados, foi criada uma  
98 variável chamada de "interrupções", do tipo numérica, atribuindo a quantidade "1" para as observações relativas  
99 a uma interrupção no fornecimento de energia, e "0" para as observações que representam o período em que a  
100 energia estava em pleno funcionamento.

101 Cabe salientar que foram excluídas desta base de dados de observações em que a energia estava em plena  
102 distribuição, as observações que coincidem temporalmente com a base de interrupções, afinal, exatamente neste  
103 exato período, a energia fortuitamente estava suspensa em seu fornecimento. Também, no intuito de explorar  
104 uma outra possibilidade que pode ser relevante para a pesquisa, foi criada uma variável chamada "raio", do tipo  
105 binária, para indicar a presença de raios naquela exata hora relata atribuindo o valor 1, e 0 quando o fato não

106 havia ocorrido, o que é diferente da variável "descargas\_atm", que apresenta a quantidade de descargas elétricas  
107 atmosféricas dentro daquela mesma observação.

108 Finalmente com as duas bases de dados unidas (com e sem interrupções), encerrando a etapa de "data  
109 wrangling" da coleta de dados, para que se garanta a aleatoriedade da informação, quanto ao objeto desta pesquisa  
110 experimental, e permitindo analisar se este estudo se trata de um caso em que o melhor modelo estatístico deva  
111 levar em conta o estudo de um fenômeno raro, considerando o fato de que energia elétrica passa mais tempo em  
112 plena distribuição, do que suspensa.

113 Por fim, em razão do tamanho da base de dados para este estudo, se fossem considerados todos os municípios  
114 do Estado do Maranhão, ainda que utilizando dados relativos ao período de apenas um ano, foram escolhidos  
115 apenas dois dos principais municípios do Estado: São Luís, e Imperatriz. O estudo poderia se limitar a capital  
116 do Estado (São Luís), por seu tamanho e importância. Todavia, a cidade de Imperatriz possui características  
117 completamente diferentes, no que se diz respeito ao clima, relevo, economia, ou outras não citadas, o que torna  
118 ainda mais interessante checar neste estudo, se há semelhanças nos resultados obtidos entre os dois municípios,  
119 o que poderia levantar outras hipóteses, para outros trabalhos futuros.

### 120 3 III. Modelo de Regressão de Poisson

121 A metodologia estatística que foi adotada neste estudo foi a aplicação do modelo de regressão de Poisson. Os  
122 modelos de regressão Poisson e o modelo de regressão binomial negativo fazem parte do que é conhecido por  
123 modelos de regressão para dados de contagem, que têm por objetivo analisar o comportamento, em função de  
124 variáveis preditoras, de uma determinada variável dependente que se apresenta na forma quantitativa, com valores  
125 discretos e não negativos, exatamente como o objeto de estudo deste trabalho, onde a princípio não é possível  
126 fracionar o evento "interrupção do sistema elétrico" (não considerase neste estudo os casos em que a energia  
127 esteve em oscilação quanto ao fornecimento), tendo sempre sua quantificação como números discretos e positivos.

128 Considerando o que afirma Fávero e Belfiore (2022, p.149), ao mencionar que no caso de ocorrência de  
129 fenômenos raros, com baixa probabilidade de sucesso ( $p > 0$ ), sob determinada exposição (unidade temporal,  
130 espacial, social, etc.), como no caso desta pesquisa experimental, em determinado intervalo de tempo, o modelo  
131 de distribuição Poisson se torna a prioritário a ser explorado.

### 132 4 Expressão do modelo de Poisson:

133  $\ln \mu^i = \ln \left( \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\mu^k}{k!} \right) = \ln \left( 1 + \mu + \frac{\mu^2}{2!} + \dots + \frac{\mu^k}{k!} + \dots \right)$  form. (1)

134 Em que  $\ln \mu^i$  ou  $\ln \mu^i$  é definido a partir de uma função de ligação canônica que é proposta com  
135 base na definição dos logaritmos das funções de verossimilhança oriunda da função densidade/ probabilidade da  
136 distribuição Poisson,  $\mu$  representa os termos do intercepto,  $\beta_k$  são os coeficientes de cada variável explicativa e  
137 correspondem aos parâmetros a serem estimados,  $X_k$  são as variáveis explicativas. Fórmula da probabilidade  
138 da distribuição Poisson:  $p(Y_i = m) = \frac{e^{-\mu} \mu^m}{m!}$  form. (2)

139 Em que  $p(Y_i = m)$  é a função da probabilidade de um evento, no modelo de regressão de Poisson, determinada  
140 por uma observação  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), "n" é o tamanho da amostra, e possui a probabilidade de ocorrência de  
141 uma contagem "m", em uma determinada exposição (período, área, região, entre outros exemplos), em que " $\mu$ " é  
142 o número esperado de ocorrências ou a taxa média estimada de incidência do fenômeno em estudo para uma dada  
143 exposição. A título de comparação de melhor modelo, também foi aplicado neste estudo o modelo de regressão  
144 binomial negativo, também conhecido como Poisson Gama, outro modelo de contagem aqui citado. A diferença  
145 básica entre os dois modelos, é que o modelo binomial negativo é mais utilizado para os casos de superdispersão,  
146 ou inflação de zeros da amostra, onde a variância da variável dependente é maior que sua própria média. Segundo  
147 Fávero e Belfiore (2022, p.696), a superdispersão é comumente gerada pela presença de maior heterogeneidade  
148 nos dados entre observações da amostra.

### 149 5 Expressão do modelo Binomial Negativo:

150  $\ln \mu^i = \ln \left( \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\mu^k}{k!} \right) = \ln \left( 1 + \mu + \frac{\mu^2}{2!} + \dots + \frac{\mu^k}{k!} + \dots \right)$  form. (3)

151 Em que  $\ln \mu^i$  ou  $\ln \mu^i$  é definido a partir de uma função de ligação canônica que é proposta com  
152 base na definição dos logaritmos das funções de verossimilhança oriunda da função densidade/ probabilidade da  
153 distribuição Poisson Gama, ou Binomial Negativa,  $\mu$  representa os termos do intercepto,  $\beta_k$  são os coeficientes de  
154 cada variável explicativa e correspondem aos parâmetros a serem estimados, e  $X_k$  são as variáveis explicativas.

155 Fórmula da probabilidade da distribuição Binomial Negativa:  $p(Y_i = m) = \frac{\Gamma(\mu)}{\Gamma(\mu - m) \Gamma(m)} \mu^m (1 - \mu)^{\mu - m}$   
156 form. (4)

157 Em que  $p(Y_i = m)$  é a função de probabilidade no modelo binomial negativo determinada por uma observação  
158  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), "n" é o tamanho da amostra, onde  $\mu$  é chamado de parâmetro de forma e deve ser maior que  
159 zero, e  $\beta$  é chamado de parâmetro de taxa de decaimento, também maior que zero.

160 A hipótese nula para este estudo será a baixa ou nenhuma correlação entre os fenômenos meteorológicos e  
161 as interrupções no fornecimento de energia elétrica em uma distribuidora, abrindo a possibilidade de estudar  
162 outros fatores, como a fadiga dos equipamentos, vida útil da rede de distribuição, ou mais fatores, que possam  
163 ter preponderância maior na suspensão ocasional da distribuição energética de eletricidade.

## 7 CORRELATIONS BETWEEN METEOROLOGICAL PHENOMENA AND INTERRUPTIONS IN THE SUPPLY OF ELECTRIC ENERGY IN A

---

164 Ainda, foram feitas análises de correspondências múltiplas, que se trata de uma técnica multivariada que  
165 possibilita a investigação de associação com mais de duas variáveis categóricas, conforme Fávero e Belfiore (2022,  
166 p.463), no intuito de perceber a relação de interdependência entre as variáveis utilizadas neste estudo, trabalhando  
167 somente com as observações onde ocorreram as interrupções do fornecimento de energia elétrica, nas duas amostras  
168 os dados.

169 As técnicas de análise de correspondência são métodos de representação de linhas e colunas de tabelas cruzadas  
170 de dados, como coordenadas em um gráfico, chamado de mapa perceptual, a partir do qual se podem interpretar  
171 as similaridades e diferenças de comportamento entre variáveis, e entre categorias.

172 Essa técnica tem como principal objetivo avaliar a significância dessas similaridades, reduzindo suas dimensões,  
173 de modo a determinar coordenadas das categorias com base na distribuição dos dados em tabelas cruzadas para, a  
174 partir dessas coordenadas, construir mapas perceptuais, que nada mais são que diagramas de dispersão que  
175 representam as categorias das variáveis na forma de pontos em relação a eixos de coordenadas ortogonais, fazendo  
176 delas, na realidade, mapas de categorias.

177 O método para realizar a análise consiste em transformar as variáveis qualitativas em variáveis binárias,  
178 obtendo daí uma matriz binária. Com base nesta matriz binária, é obtido a inércia principal total na [ACM].  
179 Supondo que a matriz binária seja semelhante a uma tabela de contingência da análise de correspondência, é  
180 possível obter a inércia principal parcial das dimensões, seus autovalores, autovetores, e posterior coordenadas  
181 desta matriz.

182 Outro método alternativo é a combinação em uma única matriz, as tabelas de contingências com os cruzamentos  
183 de todos os pares de variáveis. Essa matriz resultante, quadrada e simétrica, é conhecida por matriz de Burt,  
184 como explica Baltar (2005).

185 Só participaram da [ACM] as variáveis que apresentaram associação estaticamente significativa, com pelo menos  
186 uma variável contida na análise, por meio do teste do  $X^2$ . Caso alguma delas não apresentasse associação com  
187 outras, estas ficaram excluídas da análise de correspondência. Ao elaborar o mapa perceptual, são representadas  
188 no mapa as coordenadas das dimensões que apresentam a inércia principal parcial maior do que a média da inércia  
189 principal total por dimensão.

190 A aplicação dos modelos estatísticos se deu através da linguagem R, utilizando o software RStudio versão  
191 1.4.1106. A base final foi exportada para o formato de planilha, e tratada em banco de dados SQL Server.

## 192 6 IV. Resultados e Discussão a) São Luís

193 Foram carregados os dados da amostra de São Luís, coletada na distribuidora de energia no R com um total de  
194 272.151 observações e 12 variáveis. Os dados podem ser vistos através da função "glimpse()", conforme apêndice.

195 Para reforçar essa possibilidade conceitual, de que o objeto de estudo deste trabalho de pesquisa, se trata  
196 de um fenômeno raro, foi realizado o diagnóstico preliminar para observação de eventual igualdade entre a  
197 média e a variância da variável dependente INTERRUPCAO, cujos resultados foram respectivamente 0,0180268  
198 e 0,0177019, valores muito próximos, o que indica fortemente que de fato, o modelo estatístico mais indicado  
199 para explicar a contagem de interrupções de energia elétrica da amostra de dados de São Luís, seja um modelo  
200 de regressão Poisson.

201 Utilizando a função "glm()", fez-se a estimação deste modelo, colocando a variável INTERRUPCAO como a  
202 variável dependente, e as outras onze variáveis, já citadas, como variáveis explicativas.

203 O primeiro resultado apurado com base no modelo de regressão de Poisson, confirma a hipótese desta pesquisa  
204 experimental, de que existe de fato uma correlação entre os fenômenos meteorológicos e as vezes em que o  
205 fornecimento de energia elétrica foi interrompido aos consumidores de São Luís, pois pelo menos um beta de uma  
206 variável com informações da meteorologia no momento em que acontece a interrupção, teve o seu p-valor menor  
207 que 0.05, ou seja, podemos admitir o modelo estatístico perfeitamente correlacionado, para fins preditivos, como  
208 vê-se na Tabela 1, através da função "summary()". Para fins de comparação, e se aproximar da certeza de  
209 que o modelo estatístico não se trata de uma distribuição Binomial Negativa, corroborando com o diagnóstico  
210 preliminar que compara a média e a variância da base coletada de dados de São Luís, fez-se necessário carregar o  
211 modelo binomial negativo desta mesma base, utilizando a função "glm.nb()".

212 Segundo Bussab e Morettin (2005), o princípio da verossimilhança explica que se deve escolher aquele valor do  
213 parâmetro desconhecido que maximiza a probabilidade de obter a amostra particular observada, ou seja, o valor  
214 que torna aquela amostra a "mais provável". Esse princípio foi enunciado por Ronald Aylmer Fisher pela primeira  
215 vez em 1912 e, em 1922, deu-lhe forma mais completa, introduzindo a expressão Log-Likelihood (verossimilhança).

216 Em outras palavras, o método de máxima verossimilhança consiste em estimar o parâmetro  $\theta$  por uma amostra  
217 aleatória  $X_1, \dots, X_n$  independente e igualmente distribuída de  $X$ . Na Figura 2 é feita a comparação entre os dois  
218 modelos estatísticos, comparando o Log-Likelihood de ambos os modelos estatísticos aplicados na amostra de São  
219 Luís.

## 220 7 Correlations between Meteorological Phenomena and Inter- 221 rptions in the Supply of Electric Energy in a

222 Power Supplier Apenas para exemplificar a importância desta pesquisa experimental, tomando o modelo  
223 estatístico fundamentadamente adotado, através da função "predict", é possível estimar em aproximadamente

---

224 36,6%, a probabilidade de ocorrer uma interrupção do fornecimento de energia elétrica de um transformador de  
225 distribuição com três fases conectadas (ABC), de carga de 112,5Kva, sob uma chuva de 15 milímetros, com uma  
226 temperatura mínima de 22°C, na presença de raios, rajadas de vento de 30Km/h, conforme pode ser visto no  
227 apêndice deste trabalho.

## 228 **8 Global Journal of Research in Engineering ( F ) XXIII Issue** 229 **IV Version**

230 Ainda, cabe neste trabalho explorar a relação que cada uma destas variáveis que explicam as interrupções no  
231 fornecimento de energia, na amostra utilizada no modelo de Poisson, se relaciona-se entre si. Para isto, foi gerada  
232 um segundo "dataframe", a partir da base denominada de final.

233 Em um novo "wrangling" dos dados, para que se possa realizar uma análise de correspondência, foram criadas  
234 novas variáveis para minimizar a quantidade de rótulos a serem exibidos num mapa perceptual que será feito  
235 com a análise de correspondência múltipla [ACM].

236 A variável PLUVIOMETRIA, foi substituída pela variável PLUV\_TIPO, agora como uma variável categórica,  
237 contendo uma classificação da chuva baseada na sua intensidade medida na quantidade de milímetros registrados  
238 naquela hora. A classificação da intensidade da chuva obedeceu aos critérios adotados pela Organização  
239 Meteorológica Mundial -OMM (2018), e para nossa amostra, se dividiu entre fraca, moderada e forte.

240 A variável RAJADA foi substituída pela variável RAJADA\_TIPO, e suas categorias foram classificadas segundo  
241 a escala Beaufort, também disciplinada pela OMM, escala baseada na velocidade do vento registrada conforme  
242 Tabela 2.A variável VENTO foi excluída por possíveis relações de multicolinearidade na amostra com outras  
243 variáveis, como já mostradoneste trabalho.

244 A variável RAIO foi mantida, mas para fins de exibição dos rótulos de dados no mapa perceptual da [ACM],  
245 os valores "0" e "1", foram substituídas respectivamente pelas categorias "RAIO\_NAO" e "RAIO\_SIM". A  
246 variável DESCARGAS\_ATM foi excluída, sem substituta, por não ter sido encontrado quaisquer classificações  
247 advindas de instituições oficiais ou norma científica, nas pesquisas deste trabalho, que definissem a intensidade  
248 de descargas elétricas atmosféricas.

## 249 **9 Correlations between Meteorological Phenomena and Inter-** 250 **rptions in the Supply of Electric Energy in a** 251 **Power Supplier**

## 252 **10 Global Journal of Research in Engineering ( F ) XXIII Issue** 253 **IV Version I Year 2023**

254 Tabela De forma semelhante, as três variáveis de temperatura foram substituídas por três novas variáveis  
255 categóricas, TEMP\_MIN\_FAIXA, TEMP\_MAX\_FAIXA e TEMP\_MED\_FAIXA, onde de forma arbitrária,  
256 por também não ter encontrado literatura semelhante às outras variáveis anteriormente citadas, que agrupam as  
257 temperaturas por faixa.

258 Por último, para fins demonstrativos, destinados a orientar estudos posteriores a este trabalho, foram  
259 selecionados apenas três transformadores de distribuição na amostra, em razão de serem os mais utilizados  
260 pela Companhia, da igual forma, a fase escolhida a foi a "ABC".

261 Através do comando "mca()", obtemos a análise de correspondência múltipla da amostra. Foram obtidas 15  
262 dimensões, e a inércia total explicada se deu conforme exposto no Figura 3.

## 263 **11 Fonte: Resultados originais da pesquisa Figura 3: Inércia** 264 **Total Explicada da [ACM] da Amostra**

265 Por fim, para fins de exemplo de estudos que possam ser explorados pelas áreas de engenharia, com outros  
266 equipamentos, em outras regiões do Estado, ou mesmo em subestações, linhas de transmissão, tem-se o mapa  
267 perceptual da Figura 4.

## 268 **12 Correlations between Meteorological Phenomena and Inter-** 269 **rptions in the Supply of Electric Energy in a** 270 **Power Supplier**

## 271 **13 Global Journal of Research in Engineering ( F ) XXIII Issue** 272 **IV Version I Year 2023**

273 Fonte: Resultados originais da pesquisa Figura 4: Mapa Perceptual da [ACM] da Amostra Para Exemplo de  
274 Estudo Em uma breve análise do mapa, é possível perceber relações importantes entre algumas variáveis, que

275 configuram as situações mais comuns para interrupções no fornecimento de energia elétrica. Vê-se no mapa  
276 que os transformadores de distribuição do exemplo da amostra, estão mais vulneráveis a um dia sem descargas  
277 elétricas atmosféricas, com rajada de vento calma (velocidade do vento próxima a zero), com uma temperatura  
278 média entre 28°C e 30°C, e uma chuva fraca (menos de 2,5 mm/h). Mas também interessante notar o quanto  
279 uma rajada de vento classificado como Brisa Forte, na Escala de Beaufort, com velocidade do vento acima dos  
280 38Km/h, pode ser mais preponderante a derrubar o sistema elétrico, do que uma chuva moderada.

281 Entretanto, antes de quaisquer conclusões antecipadas, cabe verificar se as mesmas distâncias se mantêm  
282 quando vistas em gráficos de três dimensões.

283 que pode se tornar um trabalho de rotina a se adotar em uma distribuidora de energia elétrica.

### 284 14 b) Imperatriz

285 Após a carga dos dados da cidade de Imperatriz, segunda principal cidade do Estado do Maranhão em importância  
286 econômica, para efeitos de comparação com os resultados encontrados para a capital do Estado, no início  
287 deste trabalho, serão seguidos exatos mesmos procedimentos tomados no estudo anterior. A base de dados  
288 correspondente a um ano de informações, sobre todos os transformadores de distribuição instalados, contém  
289 280.442 observações.

290 Do mesmo modo como aconteceu com os dados da primeira amostra, para o estudo com os dados do município  
291 de Imperatriz, a média e a variância da variável dependente INTERRUPCAO encontradas foram respectivamente  
292 0.0056233, e 0.0055917, números muito próximos, que mostram que o diagnóstico preliminar para observação de  
293 eventual igualdade, também aponta para um estudo de um fenômeno raro, mais uma vez, corroborando a tese  
294 da Distribuição de Poisson como melhor modelo estatístico para esta nova amostra. Também, para fins de  
295 comparação com o estudo anterior, o mesmo exemplo de "predict" feito para a mostra de São Luís, foi feito para  
296 a amostra de Imperatriz, com as mesmas variáveis, e o resultado foi bem diferente entre as duas cidades. Enquanto  
297 a probabilidade de uma interrupção no fornecimento de energia elétrica na primeira amostra foi de 36,6%, nas  
298 mesmas condições do tempo, e mesmas características de transformadores, o resultado foi uma probabilidade de  
299 apenas 5,16% do sistema elétrico ser interrompido pelos mesmos fatores (sete vezes menor).

### 300 15 Global Journal of Research in Engineering ( F ) XXIII Issue 301 IV Version

302 Ao realizar a análise de correspondências múltiplas, mais diferenças são observáveis entre os dois resultados.  
303 Em razão das disparidades climáticas entre as duas cidades, mais categorias foram adicionadas para os cálculos,  
304 gerando 19 dimensões para a análise, três dimensões a mais que na amostra de São Luís, conforme o Figura 5, com  
305 a inércia total explicada da análise de correspondência múltipla. De acordo com Lima e Ferreira (2013), separadas  
306 por aproximadamente 600km, uma da outra, as duas cidades de fato possuem climas bastante divergentes. São  
307 Luís, que fica ao norte do Estado, é uma cidade litorânea, mais sujeita a ventos fortes, e temperaturas mais  
308 equilibradas ao longo do ano, do que a cidade de Imperatriz, ao sul, com um tipo de clima misto, ora seco como  
309 o cerrado e ao sertão, ora chuvoso como o clima amazônico, por fazer fronteira entre estes dois biomas, além de  
310 ventos mais fracos, e temperaturas mais extremas do que na capital.

### 311 16 Fonte: Resultados originais da pesquisa

312 Ao analisar o mapa perceptual da amostra de Imperatriz na Figura 6, é interessante perceber que a chuva violenta  
313 (com mais de 50mm/h) tem pouquíssima relação com as interrupções no fornecimento de energia de Imperatriz.  
314 Isto pode mostrar o quanto o sistema elétrico na região foi bem preparado pela distribuidora para suportar as  
315 fortes intempéries do período chuvoso.

316 Já a chuva moderada (entre 2,5 a 10 mm/h) se mostra muito mais relevante para a interrupção do fornecimento  
317 de energia do que em São Luís. A rajada de brisa forte, que em São Luís se mostra importante, em Imperatriz é  
318 a rajada de brisa fraca (ventos repentinos de 12 a 19km/h) que se mostra mais preponderante.

319 Tal mapa pode auxiliar as áreas de engenharias a encontrar soluções que mitiguem a quantidade de suspensões  
320 do fornecimento de energia elétrica, segundo as condições apresentadas. V. Conclusão É possível afirmar, através  
321 deste trabalho de pesquisa realizado com dados reais de uma distribuidora de energia elétrica do Estado do  
322 Maranhão, com duas de suas principais cidades, que há de fato, com um nível de significância de 5%, fortes  
323 correlações associadas aos fenômenos meteorológicos e as interrupções no fornecimento de energia, com causas  
324 desconhecidas, para ambas as amostras, com ressalvas que indicam que o estudo precisa ser de fato específico por  
325 região, e que, para fins preditivos, o modelo de distribuição de Poisson se encaixa perfeitamente.

### 326 17 Fonte: Resultados originais da pesquisa

327 Ainda, o estudo possibilita às distribuidoras, que possam trabalhar de modo preventivo, identificando as  
328 fragilidades do sistema elétrico quanto ao tema, e explorar ações que possam reduzir a frequência com que  
329 acontecem as interrupções, analisando não só transformadores de distribuição, mas equipamento por equipamento,  
330 ou até mesmo estruturas mais robustas, como subestações, através modelo de Poisson, e de mapas perceptuais  
331 de análise de correspondência múltipla, de modo a melhorar o indicador do ??FEC].

332 Por fim, também é possível criar um sistema de alertas que envie para o Centro de Operações Integradas,  
 333 que tipo de equipamento, onde, e a que probabilidade, este possa ter sua distribuição de energia interrompida,  
 334 de acordo com a previsão do tempo, combinado ao Sistema de Monitoramento de Alertas do ClimaTempo,  
 335 com previsões em tempo real, podendo antecipadamente ao fenômeno, deslocar equipes de plantão a lugares  
 336 estratégicos, para que estas possam tomar ações que reestabeleçam o fornecimento de energia com mais celeridade.  
 337 Desta forma, melhorando também o indicador do DEC].

338 Por fim, este estudo sugere que outras variáveis sejam acrescentadas para um estudo semelhante, como a vida  
 339 útil da rede, transformador de distribuição, ou o que queira ser estudado. Também seria interessante acrescentar  
 340 o fabricante, e lote adquirido, para identificar se uma linha de materiais comprados pela distribuidora não possui  
 341 mais fragilidade à fenômenos meteorológicos.

## 342 18 Agradecimento

343 A Deus por ter me dado toda a força deste mundo para chegar até aqui, com tantas pedras pelo caminho,  
 344 incertezas que quase me levaram a desistir, dificuldades financeiras, mas principalmente a difícil arte de revezar o  
 345 tempo com a família, amigos e trabalho, tarefa das mais complicadas que já passei nos últimos tempos. Só eu e Ele  
 346 sabíamos o que estávamos construindo. Agradecer em especial aos amigos Evandro Lima Meireles, da Gerência  
 347 Corporativa de Geoprocessamento, e Eliezer Silva de Oliveira, da Gerência Corporativa de Operações, que com  
 348 seus esforços na fase de mineração de dados, contribuíram enormemente com este trabalho, além também das  
 349 pessoas que de alguma forma compreenderam este projeto de vida, e minimamente colaboraram para a conclusão  
 deste trabalho. <sup>1 2</sup>

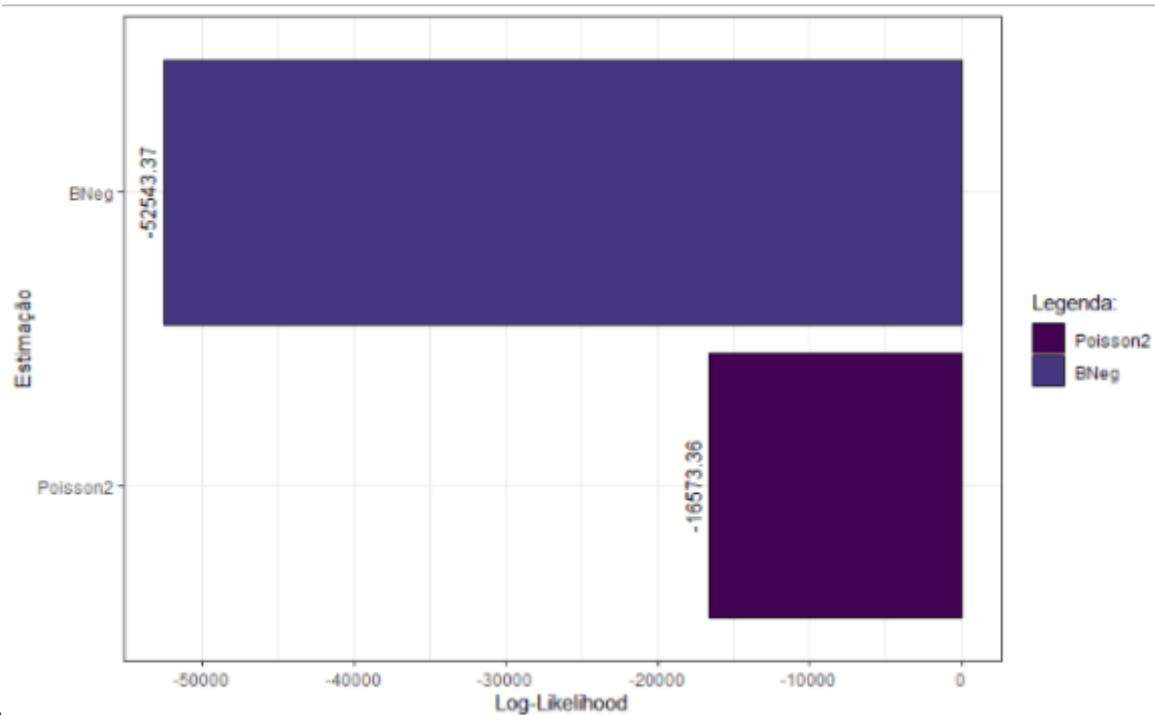


Figure 1: I Year 2023 6 ©Figura 2 :

350

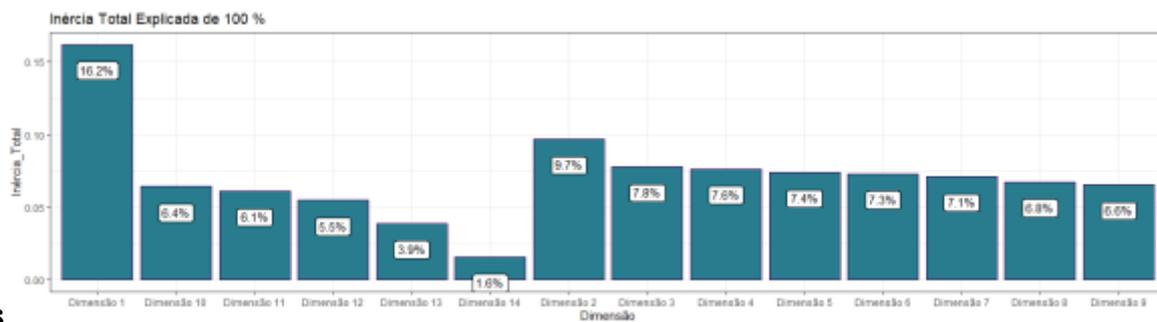
<sup>1</sup> © 2023 Global Journals

<sup>2</sup> Então, como pode ser visto na Tabela 3, também foi aplicado o modelo de Poisson, e já é possível verificar em termos quantitativos, que há menos variáveis de fenômenos meteorológicos se correspondendo com a variável dependente, interrupção no fornecimento de energia, do que na cidade de São Luís, sendo elas as variáveis PLUVIOMETRIA e RAJADA. A primeira se referindo ao volume de chuvas, e a segunda com a força repentina do vento, ambas com p-valor abaixo de 0.05, o que significa são estatisticamente significantes para explicar as interrupções no sistema elétrico, há um nível de significância de 5%. Outra diferença em relação aos dados de São Luís, é que enquanto no estudo da capital, em que dois tipos de fases da amostra (AC, e B) se mostraram estatisticamente significativa para fins preditivos, a um intervalo de confiança de 95%, nenhuma fase da amostra de Imperatriz teve resultado semelhante. Entretanto, vale pontuar que a fase ABC possui uma significância de 10%, enquanto na amostra de São Luís, a mesma não teve significância importante para o modelo estatístico de Poisson. Já em relação a potência dos transformadores (variável KVA), resultado muito semelhante se obteve ao estudo da amostra de dados de São Luís. Em Imperatriz, praticamente todos os transformadores de distribuição mostraram p-valor abaixo de 0.05, quanto a sua potência, ficando de fora apenas os transformadores com potência de 45kva, apresentando um p-valor igual a 0.16979.



5

Figure 2: Fonte: Resultados originais da pesquisa Figura 5 :



6

Figure 3: Figura 6 :

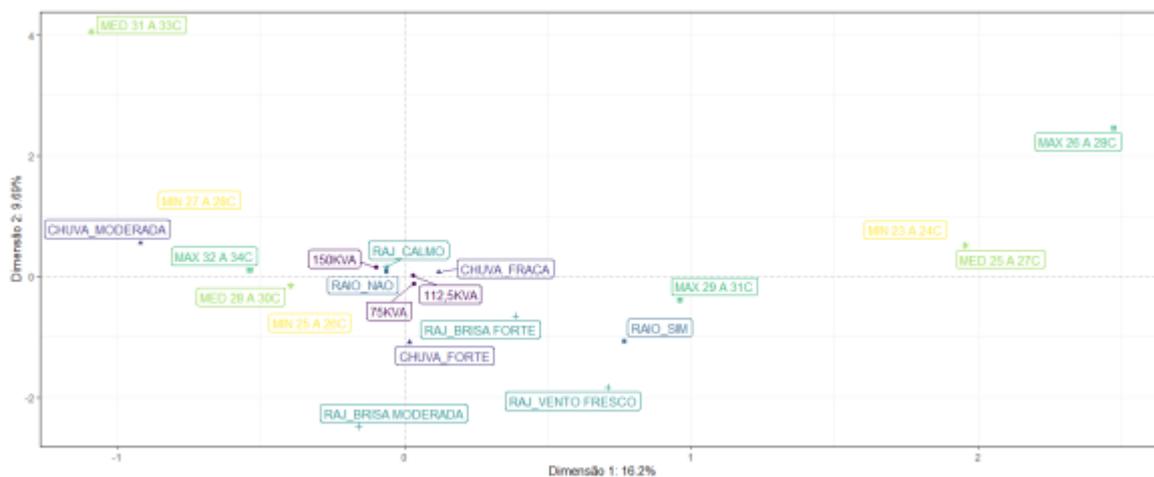


Figure 4:



```

> #Modelo Poisson:
> predict(object = modelo_poisson2,
+         newdata = data.frame(INTERRUPCAO = 1,
+                               FASES = "ABC",
+                               KVA = "112,5",
+                               PLUVIOMETRIA = 15,
+                               TEMP_MIN = 22,
+                               RAIO = 1,
+                               RAJADA = 30),
+         type = "response")
      1
0.3657294

```

Figure 9:

```

> base_slz_anacor <- read_excel("base_sao_luis_anacor.xlsx")
> glimpse(base_slz_anacor)
Rows: 3,076
Columns: 8
$ FASES      <chr> "ABC", ~
$ KVA       <chr> "112,5KVA", "75KVA", "75KVA", "112,5KVA", "112,5KVA", "75KVA", "150KVA~
$ PLUV_TIPO <chr> "CHUVA_FRACA", "CHUVA_FRACA", "CHUVA_FRACA", "CHUVA_FRACA", "CHUVA_FRA~
$ TEMP_MIN_FAIXA <chr> "MIN 25 A 26C", "MIN 25 A 26C", "MIN 25 A 26C", "MIN 23 A 24C", "MIN 2~
$ TEMP_MAX_FAIXA <chr> "MAX 32 A 34C", "MAX 32 A 34C", "MAX 32 A 34C", "MAX 29 A 31C", "MAX 2~
$ TEMP_MED_FAIXA <chr> "MED 28 A 30C", "MED 28 A 30C", "MED 28 A 30C", "MED 25 A 27C", "MED 2~
$ RAIO      <chr> "RAIO_SIM", "RAIO_SIM", "RAIO_SIM", "RAIO_SIM", "RAIO_SIM", "RAIO_SIM"~
$ RAJADA_TIPO <chr> "RAJ_CALMO", "RAJ_CALMO", "RAJ_CALMO", "RAJ_CALMO", "RAJ_BRISA FORTE",~
> |

```

Figure 10:

	KVA15	-3,0510	0,1446	-21,0960	<2e-16
	KVA150	-0,4834	0,0484	-9,9800	<2e-16
	KVA1500	-7,1696	1,0024	-7,1520	0,0000
	KVA1750	-6,0710	0,5833	-10,4080	<2e-16
	KVA2000	-6,4765	0,7120	-9,0960	<2e-16
	KVA225	-2,9794	0,1396	-21,3490	<2e-16
	KVA25	-7,1520	1,0015	-7,1410	0,0000
	KVA250	-7,1690	1,0024	-7,1520	0,0000
	KVA2600	-7,1696	1,0024	-7,1520	0,0000
	KVA30	-2,9908	0,1431	-20,9010	<2e-16
	KVA300	-3,9313	0,2119	-18,5510	<2e-16
	KVA3000	-7,1696	1,0024	-7,1520	0,0000
	KVA350	-6,4765	0,7120	-9,0960	<2e-16
	KVA3500	-7,1690	1,0024	-7,1520	0,0000
	KVA45	-1,2695	0,0760	-16,7130	<2e-16
	KVA450	-4,59503	0,4556	-13,0590	<2e-16
	KVA500	-4,6847	0,3004	-15,5930	<2e-16
	KVA612,5	-6,4765	0,7120	-9,0960	<2e-16
	KVA725	-6,4765	0,7120	-9,0960	<2e-16
	KVA75	-0,1176	0,0463	-2,5430	0,0110
MEDIA_CLIENTES		-0,0006	0,0004	-1,3650	0,1722
	PLUVIOMETRIA	0,0154	0,0025	6,0680	0,0000
	TEMP_MIN	-0,0720	0,0149	-4,8420	0,0000
	TEMP_MAX	-0,0200	0,0132	-1,5130	0,1303
	TEMP_MEDIA	NA	NA	NA	NA
DESCARGAS_ATM		0,0015	0,0007	2,0870	0,0369
	RAJADA	0,03236	0,0633	5,1090	0,0000
	RAJADA	0,0042	0,0010	4,0830	0,0000
	VENTOS_KMH	0,0021	0,0015	1,4400	0,1499

Fonte: Resultados originais da pesquisa

No intuito de evitar efeitos prováveis de multicolinearidade entre as variáveis meteorológicas que naturalmente tendem a ter resultados próximos, foi feito uma nova estimação do modelo, onde foram consideradas apenas as variáveis que foram estatisticamente significantes para o objeto deste

estudo. Desta forma, foram retiradas as variáveis

TEMP\_MAX, TEMP\_MEDIA, DESCARGAS\_ATM,

VENTOS\_KMH, e atribuindo nome

modelo\_poisson2.

Variáveis	Estimativa	Erro padrão	Valor de Z	Pr(> z )
(Intercepto)	0,7762	0,6353	1,2220	0,2218
FASESABC	-0,3258	0,4756	-0,6850	0,4934
FASESAC	-2,0067	0,5547	-3,6170	0,0003
FASESB	-4,9644	0,5544	-8,9540	<2e-16
KVA10	-5,8039	0,4141	-14,0140	<2e-16
KVA1000	-5,3779	0,4167	-12,9070	<2e-16
KVA112,5	0,0339	0,0417	0,8140	0,4158

Figure 11: Tabela 1 :

Grau	Designação	m/s	km/h	Efeitos em terra
0	Calmo	<0,3	<1	Fumaça sobe na vertical
1	Aragem	0,3 a 1,5	1 a 5	Fumaça indica direção do vento
2	Brisa leve	1,6 a 3,3	6 a 11	As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	Brisa fraca	3,4 a 5,4	12 a 19	As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	Brisa moderada	5,5 a 7,9	20 a 28	Poeira e pequenos papéis levantados; movem-se os galhos das árvores
5	Brisa forte	8 a 10,7	29 a 38	Movimentação de grandes galhos e árvores pequenas
6	Vento fresco	10,8 a 13,8	39 a 49	Movem-se os ramos das árvores; dificuldade em manter um guarda-chuva aberto; assobio em fios de postes
7	Vento forte	13,9 a 17,1	50 a 61	Movem-se as árvores grandes; dificuldade em andar contra o vento
8	Ventania	17,2 a 20,7	62 a 74	Quebram-se galhos de árvores; dificuldade em andar contra o vento; barcos permanecem nos portos
9	Ventania forte	20,8 a 24,4	75 a 88	Danos em árvores e pequenas construções; impossível andar contra o vento
10	Tempestade	24,5 a 28,4	89 a 102	Árvores arrancadas; danos estruturais em construções
11	Tempestade violenta	28,5 a 32,6	103 a 117	Estragos generalizados em construções

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Figure 12:

- 
- 351 [Bussab et al. ()] , W O Bussab , P A Morettin , Estatística Básica . 2005. São Paulo: Saraiva. 5.
- 352 [Lima and Ferreira ()] , R M B F Lima , A J A Ferreira . *Estudos de Geografia do Maranhão. Maranhão.*  
353 *EDUFMA* 2013.
- 354 [Silva ()] *A relação entre raios e chuvas nos arredores de Manaus: análise de casos extremos. Dissertação*  
355 *(Mestrado) -INPA/UEA, J C Silva . 2013. Manaus, AM.*
- 356 [Baltar ()] *Análise fatorial múltipla para tabelas de contingência*, V T Baltar . 2005. Tese de Doutorado.  
357 Universidade de São Paulo
- 358 [Wronski ()] ‘Apêndice: Operações utilizadas no R Studio para a realização deste estudo’. V R Wronski .  
359 *Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica*, (Aracaju, SE) 2003.
- 360 [Canalenergia ()] *Cemig é multada por indicadores de qualidade*, Canalenergia . <[https://www.](https://www.canalenergia.com.br/noticias/53066819/cemig-e-multada-por-indicadores-de)  
361 [canalenergia.com.br/noticias/53066819/cemig-e-multada-por-indicadores-de](https://www.canalenergia.com.br/noticias/53066819/cemig-e-multada-por-indicadores-de) 2022.
- 362 [Weathers] *Clima e condições meteorológicas médias em Imperatriz no ano todo*, Park Weathers . <[https:](https://pt.weatherspark.com/y/302)  
363 [//pt.weatherspark.com/y/302](https://pt.weatherspark.com/y/302) (Disponível em)
- 364 [Weathers] *Clima e condições meteorológicas médias em São Luís no ano todo*, Park Weathers . <[https:](https://pt.weatherspark.com/y/305)  
365 [//pt.weatherspark.com/y/305](https://pt.weatherspark.com/y/305) (Disponível em)