

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

UILIAN UEZ

**INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SOBRE OS  
LIMITES DOS INDICADORES COLETIVOS DE CONTINUIDADE**

Porto Alegre  
2015

UILIAN UEZ

**INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SOBRE OS  
LIMITES DOS INDICADORES COLETIVOS DE CONTINUIDADE**

Projeto de diplomação apresentado ao  
Departamento de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para a Graduação  
em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro

Porto Alegre

2015

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Uilian Uez**

### **INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SOBRE OS LIMITES DOS INDICADORES COLETIVOS DE CONTINUIDADE**

Este Trabalho de CC foi analisado e julgado adequado para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS.

Chefe do Departamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Ály Flores Ferreira Filho

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS.

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS.

Prof.<sup>a</sup> Dra Gladis Bordin, UFRGS.

Doutora pela Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, SC.

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich, UFRGS

Doutor pela Universidade Estadual de Campinas – Campinas, SP.

Porto Alegre, dezembro de 2015.

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência que a densidade de descargas atmosféricas tem sobre os indicadores coletivos de continuidade. A ANEEL, responsável pela regulamentação e controle dos serviços prestados pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica, desconsidera densidades de descargas atmosféricas nos cálculos para definição dos limites dos indicadores de continuidade. Após a comparação entre duas regiões com densidade de descargas atmosféricas diferentes, características semelhantes e atendidas pela mesma concessionária, os resultados comprovaram que regiões com elevada densidade de descargas atmosféricas tendem a apresentar indicadores coletivos de continuidade inferiores às regiões com baixa densidade de descargas atmosféricas.

**Palavras-chave:** ANEEL, Densidade de Descargas Atmosféricas, DEC, FEC.

## **ABSTRACT**

This final course assignment aims to evaluate the influence that the lightning density has on collective indicators of continuity. The ANEEL, responsible for the regulation and the service control of companies of electric power distribution, disregards the lightning density in the calculation to define the collective indicators of continuity limits. After the comparison between two regions with different lightning density, similar characteristics and with the same company of electric power distribution, the results confirmed that regions with high lightning density tend to have lower collective indicators of continuity compared with regions with low lightning density.

**Keywords:** ANEEL, Lightning density, SAIDI, SAIFI

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Qualidade de Energia .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.1 Prodist - Cartilha e Introdução (Módulo 1) .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2 Prodist – Modulo 8 .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3 Qualidade de Serviço .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.4 Indicadores de Continuidade .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.5 Limites dos Indicadores Coletivos de Continuidade .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1 Energia no Rio Grande do Sul .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2 Distribuição de Energia no Rio Grande do Sul .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.1 Descargas Atmosféricas .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2 Índice Ceráunico e a Densidade de Descargas Atmosféricas .....</b>	<b>23</b>
<b>3 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Efeitos das Descargas Atmosféricas no Sistema Elétrico .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Definição dos Limites de Continuidade .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Contestações sobre a Definição dos Limites .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4 Influência das Descargas Atmosféricas no Rio Grande do Sul .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5 Análise dos Resultados .....</b>	<b>48</b>
<b>3.6 Consideração sobre os Limites dos Indicadores e Densidades de Descargas Atmosféricas .....</b>	<b>52</b>
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Potência instalada de geração de energia no Rio Grande do Sul – 2013 .....	19
Figura 2: Distribuição do consumo de energia elétrica por concessionária no Rio Grande do Sul – 2011 .....	20
Figura 3: Área de abrangência das concessionárias de distribuição de energia elétrica no Rio Grande do Sul .....	21
Figura 4: Mapa isoceráunico do Brasil .....	24
Figura 5: Mapa de densidade das descargas atmosféricas do Brasil .....	25
Figura 6: Mapa de densidade das descargas atmosféricas do Rio Grande do Sul .....	34
Figura 7: Área de cobertura dos conjuntos .....	37
Figura 8: Desvio médio de FEC .....	49
Figura 9: Desvio médio de DEC .....	49
Figura 10: Densidade de descargas atmosféricas .....	51

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Densidade de descargas atmosféricas das cidades da Serra Gaúcha.....	38
Tabela 2: Densidade de descargas atmosféricas das cidades da Região das Missões.....	38
Tabela 3: Dados de FEC para os conjuntos da Região Serrana.....	41
Tabela 4: Dados de FEC para os conjuntos da Região das Missões.....	42
Tabela 5: Desvio Médio de FEC.....	43
Tabela 6: Dados de DEC para os conjuntos da Região Serrana.....	45
Tabela 7: Dados de DEC para os conjuntos da Região das Missões.....	46
Tabela 8: Desvio Médio de DEC.....	47

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Ranking de densidade de descargas atmosféricas do Brasil.....	26
Quadro 2: Ranking de densidade de descargas atmosféricas do Rio Grande do Sul.....	26
Quadro 3: Variáveis utilizadas para aplicação da análise comparativa.....	29
Quadro 4: Parâmetros do método dinâmico para os conjuntos elétrico.....	29



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica
BT	– Baixa Tensão
CEEE	– Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul
CEEE-D	– Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica
DEC	– Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor
DIC	– Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
ELAT	– Grupo de Eletricidade Atmosférica
FEC	– Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor
FIC	– Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MT	– Média Tensão
ONS	– Operador Nacional do Sistema
QEE	– Qualidade de Energia Elétrica
QEE	– Qualidade de Energia Elétrica

## 1 INTRODUÇÃO

Impulsionado pelo crescimento da indústria, em meados do Século XIX começaram a surgir os primeiros sistemas de distribuição de Energia Elétrica ao redor do mundo, no Brasil o primeiro sistema de distribuição entrou em funcionamento em 1883, na cidade de Diamantina, e se limitava a abastecer a indústria e iluminação pública.

A energia elétrica está diretamente relacionada com desenvolvimento das nações, assim como o conforto dos cidadãos que dela usufruem, tornando-se item indispensável na sociedade moderna. Com a crescente demanda, novas tecnologias e soluções precisaram ser desenvolvidas, e os antigos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica que a pouco mais de um século atrás se limitavam a pequenas usinas e linhas de distribuição, se transformaram no que atualmente é uma complexa malha que corta países desenvolvidos de norte a sul.

A necessidade cada vez maior dos consumidores trouxe juntamente com a expansão dos sistemas de distribuição de energia uma responsabilidade com a qualidade do produto fornecido. À medida que a energia elétrica começou a fazer parte do cotidiano da população iniciou-se um processo de discussão quanto à qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras.

Juntamente com a necessidade de um produto cada vez mais uniforme e contínuo, surgiu o conceito de Qualidade de Energia Elétrica, que abrange tanto os serviços de continuidade de energia, quanto a qualidade da energia entregue aos consumidores.

No Brasil, o órgão regulamentador responsável pela distribuição da energia elétrica, e pela qualidade do serviço prestado é a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Visando a definição de padrões e conceitos, a ANEEL lançou o PRODIST (Procedimentos de Distribuição), cartilha que busca regulamentar as companhias de distribuição de energia no país, garantindo assim que os consumidores brasileiros recebam um serviço de qualidade.

Um dos principais tópicos abordados pelo PRODIST se refere aos serviços de continuidade de energia elétrica, e engloba todos os indicadores de continuidade, tanto coletivos quanto individuais.

Através do Módulo 8 do PRODIST, a ANEEL estabelece os critérios que utiliza para a definição dos limites dos indicadores de continuidade, ou seja, os padrões de qualidade a serem cumpridos pelas distribuidoras. Porém é recorrente entre as distribuidoras o questionamento a respeito dos critérios utilizados pela ANEEL, e que de certa forma venham a influenciar os valores dos limites.

As descargas atmosféricas, fenômeno típico no Brasil, não está entre os critérios utilizados pela ANEEL para definição dos limites dos indicadores de continuidade, mesmo que as descargas atmosféricas causem constantes danos à rede elétrica e conseqüentemente trazendo impacto no fornecimento de energia, e influência direta aos indicadores de continuidade. Sendo o Brasil um país de dimensões continentais, possui regiões com diferentes concentrações de descargas atmosféricas, e desta forma algumas regiões sofrem menor ou maior impacto em suas redes elétricas.

Este estudo tem como objetivo analisar a influência que as descargas atmosféricas trazem para os indicadores de continuidade coletivos, e conseqüentemente entender o motivo pelo qual as densidades de descargas atmosféricas são ignoradas pela ANEEL para a definição dos limites dos indicadores de continuidade.

O trabalho está dividido em quatro partes, as definições de qualidade de energia elétrica, a ANEEL, as densidades de descargas atmosféricas, e o estudo de caso do Rio Grande do Sul.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Qualidade de Energia Elétrica

A Qualidade de Energia Elétrica (QEE) pode ser definida como sendo uma medida de quão bem a energia elétrica pode ser utilizada pelos consumidores. Dentro dessa medida está incluída as características de continuidade e a conformidade de alguns parâmetros consideráveis necessários para uma operação segura, tanto da rede quanto das cargas. (DECKMANN, 2010)

QEE também pode ser definida como o conjunto de características da energia elétrica entregue pela distribuidora para os consumidores finais. Pode-se considerar a busca pelo desenvolvimento de forma que venham a acabar ou diminuir os problemas nos dispositivos que sejam alimentados por energia elétrica (POMALIS, 2010).

Apesar do conhecimento a respeito de todas as informações técnicas necessárias para as condições ideais de funcionamento na rede elétrica, considerando as condições reais é praticamente impossível atender todas essas questões técnicas ao mesmo tempo, um problema recorrente na distribuição de energia, ocasionado por diversos fatores (POMALIS, 2010).

A qualidade e a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica pelas empresas concessionárias aos seus consumidores estão diretamente associadas ao fornecimento de energia elétrica de forma contínua, ininterrupta e sem perturbações momentâneas significativas. Porém, diversos fatores influenciam esses índices de qualidade, tais como o desempenho dos sistemas frente às descargas atmosféricas, a configuração das redes, as características de operação do sistema, etc. Sendo que estes fenômenos são aleatórios ou intrínsecos, que ocorrem no sistema elétrico que causam alterações, deteriorando a qualidade do fornecimento de energia elétrica ao consumidor residencial e industrial (SILVA, 2010).

Normas foram criadas para que os distúrbios fossem identificados, assim como os parâmetros corretos de medição, e assim fosse possível estabelecer critérios de qualidade de energia elétrica justos, que não prejudique os consumidores e que sejam fisicamente plausíveis para as concessionárias (POMALIS, 2010).

No Brasil, a regulamentação da qualidade de energia elétrica distribuída fica por conta da ANEEL. A normalização e as regras a serem seguidas pelas concessionárias no que diz respeito à distribuição de energia, foi regulamentado pela ANEEL através do PRODIST.

### **2.1.1 PRODIST - Cartilha e Introdução (Módulo 1)**

Os Procedimentos de Distribuição ou PRODIST são documentos elaborados pela ANEEL, com a participação dos agentes de distribuição e de outras entidades e associações do setor elétrico nacional, que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Os Procedimentos de Distribuição são um conjunto de regras com vistas a subsidiar os agentes e consumidores do sistema elétrico nacional na identificação e classificação de suas necessidades para o acesso ao sistema de distribuição, disciplinando formas, condições, responsabilidades e penalidades relativas à conexão, planejamento da expansão, operação e medição da energia elétrica, sistematizando a troca de informações entre as partes, além de estabelecer critérios e indicadores de qualidade (PRODIST MÓDULO I).

O PRODIST tem como objetivo garantir que os sistemas de distribuição operem com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade; propiciar o acesso aos sistemas de distribuição, assegurando tratamento não discriminatório entre agentes; disciplinar os procedimentos técnicos para as atividades relacionadas ao planejamento da expansão, à operação dos sistemas de distribuição, à medição e à qualidade da energia elétrica; estabelecer requisitos para os intercâmbios de informações entre os agentes setoriais; assegurar o fluxo de informações adequadas à ANEEL; disciplinar os requisitos técnicos na interface com a Rede Básica, complementando de forma harmônica os Procedimentos de Rede (PRODIST MÓDULO I).

O PRODIST é composto por 9 módulos: Introdução (Módulo 1), Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição (Módulo 2), Acesso ao Sistema de Distribuição (Módulo 3), Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição (Módulo 4), Sistemas de Medição (Módulo 5), Informações Requeridas e Obrigações (Módulo 6), Cálculo de Perdas na Distribuição (Módulo 7) e Qualidade da Energia Elétrica (Módulo 8), Ressarcimento de Danos Elétricos (Módulo 9).

No Módulo 8 são estabelecidas as considerações que dizem respeito a qualidade da energia elétrica, e mais precisamente da qualidade do serviço prestado.

### 2.1.2 PRODIST – Módulo 8

O PRODIST tem como função estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica - QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado (PRODIST MÓDULO 8)

Para definir a qualidade do produto, o PRODIST define a terminologia, caracteriza os fenômenos, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão, estabelecendo mecanismos que possibilitem à ANEEL fixar padrões para os indicadores de QEE (PRODIST MÓDULO 8).

Para a qualidade dos serviços prestados, o PRODIST estabelece a metodologia para apuração dos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento a ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades (PRODIST MÓDULO 8).

Os procedimentos de qualidade de energia elétrica definidos neste módulo se aplicam aos atendimentos realizados por Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI e Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI (PRODIST MÓDULO 8).

Através do Módulo 8 (2012, p. 3-4), a ANEEL estabelece e subdivide o módulo regulamentador em 3 seções:

- a) Qualidade do Produto, que define a terminologia, caracteriza os fenômenos e estabelece os parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão;
- b) Qualidade do Serviço, que estabelece os procedimentos relativos aos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento, e que é o foco da análise deste trabalho.
- c) Disposições Transitórias, que trata do planejamento do processo de implantação dos indicadores de qualidade do produto da energia elétrica.

Para a continuação do estudo, e uma abordagem mais profunda, o foco será apenas sobre o item *b*, referente à Qualidade do Serviço.

### 2.1.3 Qualidade do Serviço

A qualidade do serviço estabelece os procedimentos relativos aos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento durante as interrupções.

O processo de monitoramento da qualidade do serviço oferecido pelas concessionárias baseia-se, principalmente, na coleta e no processamento dos dados de interrupção do fornecimento de energia elétrica.

Para definir os padrões da qualidade de serviço no Brasil, a ANEEL estabeleceu os parâmetros através dos Indicadores de Continuidade, que foram divididos em duas classes, Indicadores de Continuidade Individuais – DIC, FIC e DMIC, e os Indicadores de Continuidade Coletivos, DEC e FEC. Esses indicadores são baseados nos parâmetros internacionais, contidos na norma IEEE, SAIDI - *System Average Interruption Duration Index* e SAIFI - *System Average Interruption Frequency Index*, para definir os indicadores coletivos e CAIDI - *Customer Average Interruption Duration Index* e CAIFI - *Customer Average Interruption Frequency Index*, para definir os indicadores individuais (POMALIS, 2010).

Através do controle de interrupções, do cálculo e dos indicadores de continuidade de serviço apurados que as distribuidoras, os consumidores e a ANEEL conseguem avaliar a qualidade do serviço prestado.

### 2.1.4 Indicadores de Continuidade

É por meio do controle das interrupções, do cálculo e da divulgação dos indicadores de continuidade de serviço, que as distribuidoras, os consumidores e a ANEEL podem avaliar a qualidade do serviço prestado e o desempenho do sistema elétrico. Os indicadores de continuidade do serviço de distribuição de energia elétricos são estabelecidos a partir da duração e frequência de interrupção (PRODIST MÓDULO 8).

Os indicadores são divididos em duas categorias, indicadores de continuidade individuais e indicadores de continuidade coletivos. Os indicadores de continuidade individuais são apurados para todas as unidades consumidoras, são eles o DIC, o FIC e o DMIC.

a) Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC)

O DIC é o indicador de continuidade que demonstra quanto tempo uma Unidade Consumidora ou Ponto de Conexão ficou sem energia elétrica, num determinado período de tempo. Seu cálculo pode ser elaborado pela equação (1):

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (1)$$

Onde:

$i$  = índice de interrupções da unidade consumidora no período de apuração, variando de 1 a  $n$ ;

$t(i)$  = tempo de duração da interrupção ( $i$ ) da unidade consumidora considerada ou ponto de conexão;

$n$  = número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração.

b) Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC)

O FIC é o indicador de continuidade que mostra o número de vezes que uma Unidade Consumidora ou Ponto de Conexão ficou sem energia elétrica, em um determinado período de tempo. Ele é definido pela ANEEL pela equação (2):

$$FIC = n \quad (2)$$

c) Duração Máxima de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DMIC)

O DMIC é o indicador de continuidade que demonstra a duração máxima de tempo que uma Unidade Consumidora ou Ponto de Conexão ficou sem energia elétrica, em um determinado período de tempo. Ele limita o tempo máximo de interrupção, para impedir que a distribuidora deixe o consumidor um longo tempo sem energia elétrica, e é definido pela equação (3).

$$DMIC = Máx[t(i)] \quad (3)$$

Os indicadores de continuidade coletivos são definidos para conjunto de unidades consumidoras, e são definidos através de DEC e FEC, mostrados abaixo.

d) Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor (DEC)



DEC é o indicador de continuidade que mostra o tempo médio que um consumidor de um conjunto considerado ficou sem energia elétrica, em um determinado período de tempo. Sua equação é a (4):

$$DEC = \frac{\sum_{j=1}^{Cc} DIC(t)}{Cc} \quad (4)$$

Onde:

DIC = duração de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão expressa em horas;

j = índice de unidades consumidoras atendidas em BT e MT faturadas do conjunto;

Cc = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto, no período de apuração, atendidas em BT ou MT.

#### e) Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor (FEC)

FEC é o indicador de continuidade que mostra o número de interrupções médio que um consumidor de um conjunto considerado sofreu em um determinado período de tempo. Sua equação é a (5):

$$FEC = \frac{\sum_{j=1}^{Cc} FIC(t)}{Cc} \quad (5)$$

Onde:

FIC = frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão expressa em número de interrupções.

j = índice de unidades consumidoras atendidas em BT e MT faturadas do conjunto;

Cc = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto, no período de apuração, atendidas em BT ou MT.

Os indicadores DEC, FEC, DIC e FIC são calculados para períodos de apuração mensais, trimestrais e anuais, a exceção é o indicador DICRI, que é apurado por interrupção ocorrida em dia crítico.

### **2.1.5 Limites dos Indicadores Coletivos de Continuidade**

Os limites de DEC e FEC são diferentes entre os conjuntos de consumidores de cada distribuidora, visto que a área de cobertura das distribuidoras é composta por regiões com diferentes características geográficas e de mercado. Algumas distribuidoras estão localizadas mais próximas aos centros de carga, apresentam maior consumo de energia, ou maior densidade de unidades consumidoras, fatores esses que têm influência direta na qualidade da energia fornecida, e que não é uniforme inclusive dentro de uma mesma área de concessão.

Segundo a ANEEL, quanto mais longe dos centros de carga ou menor a densidade de unidades consumidoras em uma determinada região, maior será o custo que o atendimento representa para a distribuidora, que desta forma precisa de um investimento maior para prestar o serviço. Consequentemente, quanto maior for o investimento para aumentar a qualidade do serviço, maior será o impacto tarifário.

Os valores dos limites anuais são disponibilizados por audiência pública e estabelecidos em resolução específica. Para estabelecer o limite dos indicadores de continuidade, as distribuidoras devem enviar à ANEEL os atributos físico-elétricos de todos os seus conjuntos, que estão descritos nos tópicos 2.7 do PRODIST (PRODIST MÓDULO 8).

### **2.2.1 Energia Elétrica no RS**

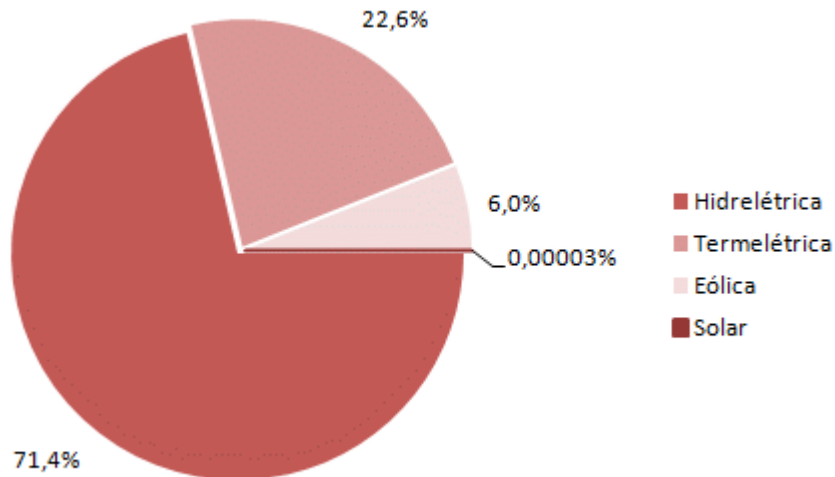
Três grandes empresas são responsáveis por grande parte da energia elétrica produzida no Rio Grande do Sul, são elas a Tractebel Energia S/A, Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE-GT e Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica - CGTEE. Uma pequena parte da energia produzida no Rio Grande do Sul é gerada por empresas de médio e pequeno porte (ATLAS, 2015).

O Rio Grande do Sul teve um aumento significativo da capacidade instalada para geração de energia elétrica nos últimos anos, nos últimos 12 anos passou de 1.893,8MW em 1998 para 9.111,8MW em 2013, um crescimento de 481%. Com este acréscimo de energia foi possível à ampliação dos níveis de consumo no Rio Grande do Sul e também em todo país, através da operação do sistema interligado de geração e distribuição (ATLAS, 2015).

Os dados de 2013 indicam que da capacidade de geração energética do estado, 71,4% corresponde a hidroeletricidade (7 usinas hidrelétricas, 48 pequenas centrais hidrelétricas e 47 centrais geradoras), 22,6% a termoeletricidade (58 usinas termelétricas), 6,0% a energia eólica

(20 usinas eólicas) e um pequeno percentual de energia solar(2 usinas fotovoltaicas), conforme a figura 1(ATLAS, 2015).

**Figura 1:** Potência instalada de geração de energia no RS - 2013



Fonte: ANEEL, 2015

O sistema gaúcho de transmissão além de fazer parte do Sistema Interligado Brasileiro (SIN), também está conectado ao sistema uruguaio através da estação Rivera-Santana do Livramento e do sistema argentino através das estações conversoras Garabí e Uruguaiana (ATLAS, 2015).

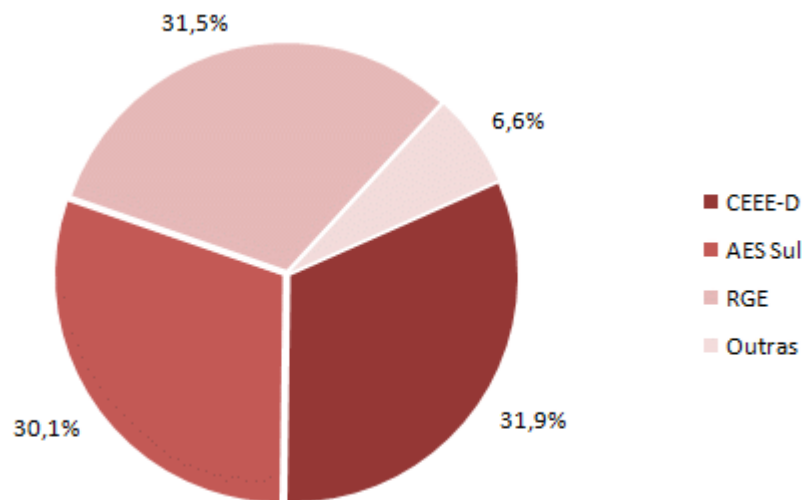
Com a recente ampliação da capacidade geradora de energia elétrica do Rio Grande do Sul, conduziram o Estado a um aumento de 67,3% da sua capacidade de atendimento nos últimos dez anos, também houve um crescimento de 56,9% na demanda máxima, equilibrando assim a relação entre oferta e demanda de energia. No que diz respeito ao perfil do consumo de energia elétrica no Estado, a indústria é o setor de maior consumo com 38,6%. O setor residencial consome 24,4%; o comercial 15,7%; o agropecuário 12,9% e o restante 8,4% são consumidos pelo setor público e de transporte (ATLAS, 2015)

### 2.2.2 A Distribuição no RS

Segundo dados do Governo do Rio Grande do Sul, a distribuição de energia é executada por 23 agentes, sendo 8 deles concessionários de serviços públicos e 15 cooperativas de eletrificação rural, 93,5% da energia é fornecida por apenas três

concessionárias - Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE-D), Distribuidora Gaúcha de Energia Elétrica (AES-Sul) e Rio Grande Energia (RGE), conforme a Figura 2. Somadas são responsáveis por mais de 4 milhões de unidades consumidoras (ATLAS, 2015).

**Figura 2:** Distribuição do consumo de energia elétrica por concessionária no RS - 2011



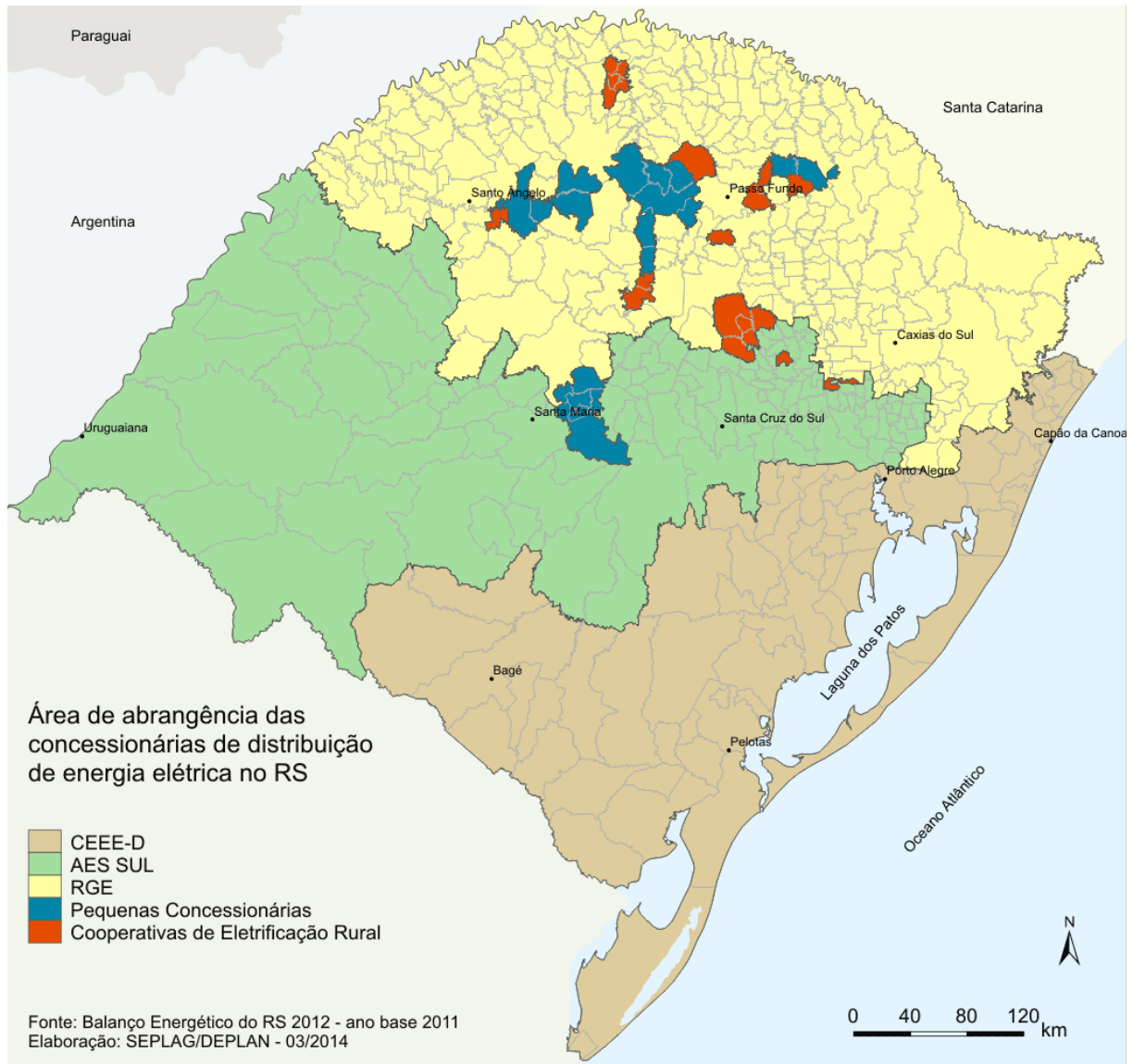
Fonte: CEEE/Balanco Energético, 2012

As outras cinco concessionárias de distribuição de energia são de pequeno porte e responsáveis por uma pequena parte da energia fornecida, e responsáveis por um pequeno número de municípios, são elas: Muxfeldt (Muxfeldt, Marin & Cia Ltda.), Uhenpal (Usina Hidroelétrica Nova Palma), Eletrocar (Centrais Elétricas de Carazinho S.A.), Hidropan (Hidroelétrica Panambi) e Demei (Departamento Municipal de Energia de Ijuí) (ATLAS, 2015).

O restante da energia elétrica fornecida no estado está sob a responsabilidade de 15 cooperativas de eletrificação rural, são elas: Celetro, Cerfox, Ceriluz, Cermissões, Certaja, Certel, Certhil, Cervale, Cooperluz, Coopernorte, Coopersul, Coprel, Cosel, Creluz e Cral (ATLAS, 2015).

As áreas de abrangência das concessionárias e cooperativas de distribuição de energia elétrica do Rio Grande do Sul podem ser observadas na Figura 3.

**Figura 3:** Área de abrangência das concessionárias de distribuição de energia elétrica no RS.



Fonte: CEEE/Balanço Energético, 2012

A Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica - CEEE-D é a empresa responsável pelos dos serviços de distribuição de energia elétrica na região sul-sudeste do estado do Rio Grande do Sul. A CEEE é responsável por 72 municípios, que abrangem uma área de 73.627 km<sup>2</sup>, que representa 28% da área do Estado, com uma rede de aproximadamente 72.138 km, entre redes urbanas e rurais (CEEE, 2015). A CEEE Distribuição abastece aproximadamente 1,6 milhão de unidades consumidoras, o que equivale a cerca de 4,8 milhões de pessoas, o que representa um terço da população do Rio Grande do Sul (CEEE, 2015).

A AES Sul é responsável pelos serviços de distribuição de energia elétrica na região Centro-Oeste e alguns municípios da região Metropolitana do Rio Grande do Sul. A AES Sul

e atende 118 municípios, que abrange uma área de 99.512 km<sup>2</sup>, ou seja, aproximadamente 37% do território do Rio grande do Sul, com aproximadamente 1,3 milhão de unidades consumidoras, e cerca de 3,7 milhões de pessoas (AES Sul, 2015).

A Rio Grande Energia (RGE) é a distribuidora de energia elétrica da região nortenordeste do Estado do Rio Grande do Sul. A RGE atende 262 municípios gaúchos, o que representa 54% do total de municípios do Estado. A área de cobertura é de aproximadamente 90.718 km<sup>2</sup>, ou seja, 34% do território do Estado (RGE, 2015).

### **2.3.1 Descargas Atmosféricas**

Segundo dados do INPE, entre 50 a 100 relâmpagos ocorrem por segundo no mundo, o que equivale a aproximadamente 10 milhões de descargas por dia, ou 3 bilhões por ano, e mesmo grande parte da terra sendo coberta por água, menos de 10% dos raios ocorrem sobre os oceanos, isso ocorre por causa das variações de temperatura ao longo do dia, do relevo menos acidentado e da menor concentração de aerossóis sobre os oceanos em comparação com a superfície dos continentes, fator esse que influencia para a maior ocorrência de descargas sobre a terra, que ocorrem predominantemente no verão, resultado do maior aquecimento solar, porém nada impede que ocorram em qualquer período do ano (INPE, 2015).

Recentemente, a distribuição global de relâmpagos tem sido obtida por observações feitas com sensores ópticos a bordo de satélites. A densidade de relâmpagos por ano obtida a partir de observações feitas por satélite depois de 1995 é, contudo, restrita a latitudes inferiores a 50°, devido à órbita dos satélites, e tendem a representar a densidade total de relâmpagos, visto que o sensor a bordo do satélite não é capaz de discriminar os diferentes tipos de relâmpagos. Assim como para o índice cerâmico, a densidade de relâmpagos nuvem-solo pode ser estimada a partir das observações de satélite

As observações de satélite confirmam que a maioria dos relâmpagos ocorre sobre os continentes e em regiões tropicais. De um modo geral, sabe-se que as principais regiões de ocorrência de relâmpagos no hemisfério norte são o centro da África, o sul da Ásia e o sul dos Estados Unidos. No hemisfério sul, as principais regiões são o Brasil (exceto pela região nordeste), o norte da Argentina, o sul da África, a ilha de Madagascar, a Indonésia e o norte da Austrália.

Em alguns pontos dessas regiões, como Uganda, o lago Maracaibo, na Venezuela, e a ilha de Java, a densidade de relâmpagos por ano atinge valores próximos àqueles registrados no famoso edifício "Empire State" em Nova York, que, com seus 410

metros de altura, é atingido em média por 20 relâmpagos por ano. Relâmpagos são raros em regiões de altas latitudes geográficas (latitudes maiores que 60°), por conta do ar muito frio, e em regiões desérticas, onde não há umidade suficiente para a formação das nuvens de tempestade.

O Brasil é um dos países de maior ocorrência de relâmpagos no mundo por ter grande extensão territorial e estar próximo do equador geográfico. Estima-se, com base em dados de satélite, que cerca de 50 milhões de relâmpagos nuvem-solo atinjam o solo brasileiro por ano - ou dois relâmpagos por segundo. Isto equivale a uma média de aproximadamente 7 relâmpagos por km<sup>2</sup> por ano.

Estudos recentes têm mostrado que a ocorrência de relâmpagos tem aumentado significativamente sobre grandes áreas urbanas em relação às áreas vizinhas. Acredita-se que este efeito esteja relacionado ao maior grau de poluição sobre essas regiões e ao fenômeno conhecido como "ilha de calor", aquecimento provocado pela alteração do tipo de solo e a presença de prédios e elementos que alteram a temperatura local (INPE, 2015).

### **2.3.2 Índice Ceráunico e a Densidade de Descargas Atmosféricas.**

O índice ceráunico é o número de dias com trovoadas que ocorrem por ano em um determinado local. Através desse índice é possível obter a densidade de ocorrência de raios nuvem-solo do local em questão, ou seja, a quantidade de raios que atingem o solo por quilômetro quadrado por ano (INPE, 2015).

Através do índice ceráunico é possível traçar mapas isoceráunicos, que são isolinhas destes índices para áreas extensas, representadas na Figura 4. Este índice é de grande importância para o cálculo em projetos de sistemas de proteção de descargas atmosféricas.

**Figura 4:** Mapa isoceráunico do Brasil



Fonte: ABNT NBR 5419

Utilizando o mapa isoceráunico e a equação (6) é possível obter-se o número de descargas atmosféricas por quilômetro por ano, ou, seja a densidade de descargas atmosféricas.

$$Ng = 0,04 \cdot Td^{1,25} \quad (6)$$

Onde:

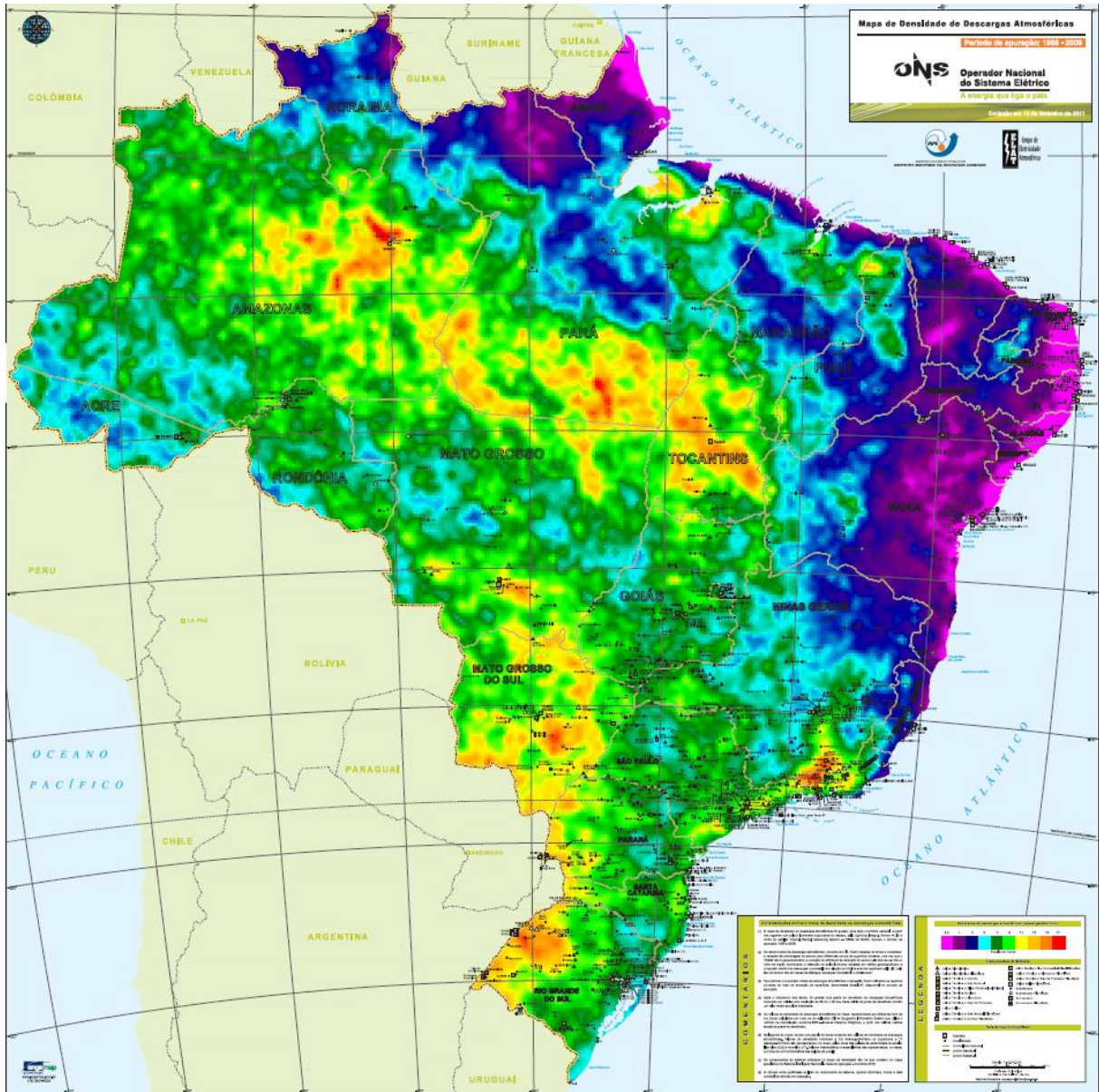
Ng = Densidade de descargas atmosféricas [ $/Km^2/ano$ ]

Td = Número de trovoadas por ano, obtido no mapa isoceráunico.

Através da constante coleta de dados, entre o ano de 1998 e 2009, o INPE desenvolveu um mapa com onde é possível observar as regiões com maior incidência de descargas atmosféricas, de uma forma mais direta e visual, que está representado na Figura 5.



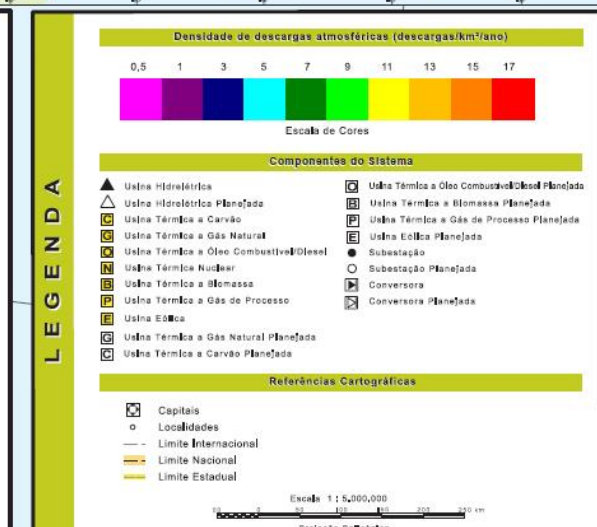
Figura 5: Mapa de densidade de descargas atmosféricas do Brasil.



**COMENTÁRIOS**

**Considerações sobre o mapa de densidade de descargas atmosféricas**

- (1) O mapa de densidade de descargas atmosféricas foi gerado, para todo o território nacional, a partir dos registros dos pulsos luminosos capturados do espaço, pelo Lightning Imaging Sensor – LIS a bordo do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM da NASA, durante o período de apuração: 1998 a 2009;
- (2) Os dados brutos de descargas atmosféricas, oriundos do LIS, foram tratados de forma a considerar: a variação da amostragem do sensor, para diferentes pontos da superfície terrestre, uma vez que o TRMM não é geostacionário; a variação da eficiência de detecção do sensor pelo fato de ser dia ou noite na região monitorada; a distorção do pulso luminoso causada por efeitos geomagnéticos; a proporção média das descargas nuvem- solo em relação ao total de eventos registrado pelo LIS, pelo fato do sensor não ser capaz de distinguir descargas nuvem- solo e intra-nuvem;
- (3) Para estimar a proporção média de descargas atmosféricas nuvem- solo, foram utilizados os registros oriundos da rede de detecção de superfície, denominada BrasilDAT, disponível no período de apuração;
- (4) Após o tratamento dos dados, foi gerada uma grade de densidade de descargas atmosféricas composta por células com resolução de 25 km x 25 km. Cada célula da grade de densidade contém um valor médio anual de densidade;
- (5) Os valores de densidade de descargas atmosféricas do mapa, representados por diferentes tons de cor, foram calculados por meio de um aplicativo GIS – Geographic Information System que utiliza o método de interpolação numérica IDW – Inverse Distância Weighted, a partir dos valores médios anuais da grade de densidade;
- (6) Na legenda do mapa, consta uma escala de cores contendo dez valores de densidade de descargas atmosféricas. Valores de densidade inferiores a 0,5 descargas/km<sup>2</sup>/ano ou superiores a 17 descargas/km<sup>2</sup>/ano são representados, no mapa, pelas cores das pontas da extremidade da escala: lilás claro (0,5) e vermelho (17). Valores intermediários a esses limites são representados, no mapa, por tons de cor intermediários das paletas da escala;
- (7) Os componentes do sistema indicados no mapa de densidade são os que constam no mapa geográfico do Sistema Integrado Nacional – Rede de Operação – Horizonte 2012;



Também é possível obter a densidade de descargas atmosféricas de cada região/cidade através de dados divulgados pelo INPE, que fornece através do seu website um ranking com a densidade de todas as cidades do Brasil, as informações são baseadas nos dados do sensor orbital LIS (Lightning Imaging Sensor). O sensor LIS está a bordo da plataforma TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), que é uma missão conjunta entre as agências espaciais NASA (americana) e JAXA (japonesa). Os dados se referem a uma média de 15 anos e consideram uma série de correções. Nos quadros 1 e 2 é possível visualizar o ranking do Brasil e do Rio Grande do Sul das cidades com maior densidade de descargas atmosféricas, os números divulgados foram apresentados no ano de 2013, e correspondem ao acumulo de dados até a respectiva data.

**Quadro 1:** Ranking de densidade de descargas atmosféricas do Brasil

Município	UF	Densidade de descargas.Km <sup>-2</sup> .Ano <sup>-1</sup>	Ranking
Porto Real	RJ	19,66	1°
Barra do Pirai	RJ	18,09	2°
Valença	RJ	17,31	3°
Rio das Flores	RJ	17,11	4°
Juiz de Fora	MG	17,03	5°
Belmiro Braga	MG	16,74	6°
Matias Barbosa	MG	16,63	7°
Rio Preto	MG	16,6	8°
Piau	MG	16,34	9°
Forquethina	RS	16,13	10°

Fonte: INPE, 2015

**Quadro 2:** Ranking de densidade de descargas atmosféricas do Rio Grande do Sul

Rio Grande do Sul			
Município	UF	Densidade de descargas.Km <sup>-2</sup> .Ano <sup>-1</sup>	Ranking
Forquethina	RS	16,13	1°
São Pedro do Butiá	RS	16,07	2°
Garruchos	RS	16,03	3°
Santo Antônio das Missões	RS	16,01	4°
Bossoroca	RS	15,75	5°
Augusto Pestana	RS	15,41	6°
Coronel Barros	RS	15,15	7°
Ijuí	RS	15,04	8°
São Borja	RS	14,97	9°
São Nicolau	RS	14,8	10°

Fonte: INPE, 2015

No ranking, o Rio Grande do Sul é o estado com maior densidade de descargas atmosféricas do Brasil, e também possui os raios mais destrutivos (INPE, 2015).

### **3 ESTUDO DE CASO**

#### **3.1 Descargas Atmosféricas e o Sistema Elétrico**

As descargas elétricas são responsáveis por grande parte dos problemas com desligamentos das redes elétricas de transmissão e distribuição no Brasil, aproximadamente 70% dos desligamentos nas linhas de transmissão e 40% dos desligamentos nas linhas de distribuição são provocados por raios. As descargas atmosféricas ocorrem com maior frequência no verão, devido ao aquecimento solar, mas nada impede que elas ocorram em qualquer período do ano (INPE, 2015).

O desligamento de uma linha de transmissão gerado por uma descarga atmosférica pode ocorrer de várias formas, quando o raio atinge uma fase na linha, acaba gerando uma ruptura de isolamento e um curto circuito na forma de arco voltaico se forma entre a linha e o cabo guarda. É também possível ocorrer o desligamento quando a descarga atinge diretamente o cabo guarda ou a torre, que acaba gerando um arco entre o mesmo e alguma das fases da linha, evento esse denominado de descarga reversa, esse caso ocorre com maior facilidade quanto à torre ou o cabo guarda possuem um aterramento deficiente. Alguns desligamentos também podem ocorrer devido ao impacto direto da descarga sobre a linha, ou através de tensões induzidas na linha por descargas que venham a ocorrer próxima a ela (INPE, 2015).

Ao longo dos anos muito tem se investido, tanto em estudos quanto em equipamentos para minimizar os efeitos causados pelas descargas atmosféricas nas linhas de transmissão e distribuição, especialmente no que diz respeito a sistemas de aterramento.

#### **3.2 Definições dos Limites de DEC e FEC**

Todas as distribuidoras de energia elétrica no Brasil precisam manter seus indicadores de continuidade de energia em níveis aceitáveis e abaixo dos exigidos pela ANEEL. Para o caso dos indicadores de continuidade coletivos a ANEEL determina valores de DEC e FEC limites, que são diferentes para cada tipo de conjunto, tendo em vista que cada conjunto possui suas peculiaridades.

As questões que envolvem os limites de continuidade geram muitos debates entre a ANEEL e as distribuidoras, visto que a metodologia utilizada para a definição dos limites envolve uma vasta gama de critérios, conceitos técnicos e claros, interesses financeiros.

Através de notas técnicas, ANEEL e distribuidoras tentam estabelecer um consenso para a solução do problema em questão, assim como um constante aperfeiçoamento do PRODIST.

A Nota Técnica nº 0021/2011-SRD/ANEEL é constantemente citada pela ANEEL e pelas distribuidoras, visto que ajudou a aprimorar e esclarecer a metodologia usada para definição dos limites.

O primeiro passo para definição técnica dos limites de continuidade estão descritos nos Módulo 8 do PRODIST, no item 5.10 da seção 8.2 que estabelece:

5.10.2 No estabelecimento dos limites de continuidade para os conjuntos de unidades consumidoras será aplicado o seguinte procedimento:

- a) seleção dos atributos relevantes para aplicação de análise comparativa;
- b) aplicação de análise comparativa, com base nos atributos selecionados na alínea “a”;
- c) cálculo dos limites para os indicadores DEC e FEC dos conjuntos de unidades consumidoras de acordo com o desempenho dos conjuntos; e
- d) análise por parte da ANEEL, com a definição dos limites para os indicadores DEC e FEC.

A alínea “a” que define a seleção de atributos relevantes para a caracterização dos conjuntos, é estabelecida pela ANEEL através do Módulo 8 do PRODIST, mais especificamente no item 2.7 da seção 8.2:

2.7 Os conjuntos serão caracterizados pelos seguintes atributos:

- a) área em quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>);
- b) extensão da rede MT, segregada em urbana e rural, em quilômetros (km);
- c) energia consumida nos últimos 12 meses, segregada pelas classes residencial, industrial, comercial, rural e outras classes, em megawatt-hora (MWh);
- d) número de unidades consumidoras atendidas, segregadas pelas classes residencial, industrial, comercial, rural e outras classes;
- e) potência instalada em kilovolt-ampère (kVA);
- f) padrão construtivo da rede (aérea ou subterrânea);
- g) localização (sistema isolado ou interligado).

As variáveis de entrada são selecionadas por Análise Fatorial e Análise de Correlações e são definidas na quadro 3, através da Nota Técnica nº 0021/2011-SRD/ANEEL.

**Quadro 3:** Variáveis utilizadas para aplicação da análise comparativa

Variável	Sigla	Unidade
Área do Conjunto	Area	km <sup>2</sup>
Extensão de Rede MT Urbana	ERMT_Urb	km
Extensão de Rede MT Rural	ERMT_Rur	km
Número de Unidades Consumidoras Total	NUC	
Consumo Médio – Classe Residencial	MWh_NUC_Res	MWh
Consumo Médio – Classe Industrial	MWh_NUC_Ind	MWh
Consumo Médio – Classe Comercial	MWh_NUC_Com	MWh
Consumo Médio – Classe Rural	MWh_NUC_Rur	MWh
Energia Consumida por Potência Instalada	MWh_kVA	MWh/kVA
Número de Unidades Consumidoras por Área	NUC_Area	km <sup>-2</sup>
Percentual de Unidades Consumidoras – Classe Residencial	Perc_NUC_Res	%
Percentual de Unidades Consumidoras – Classe Industrial	Perc_NUC_Ind	%
Percentual de Unidades Consumidoras – Classe Comercial	Perc_NUC_Com	%

Fonte: ANEEL, 2011

Na posse de todos os atributos a ANEEL busca agrupar os conjuntos semelhantes através de técnicas de agrupamento, denominado método dinâmico, que tem como objetivo determinar, dado um conjunto de referência, os conjuntos mais semelhantes a este. Sendo assim para cada conjunto de referência será formado um agrupamento de conjuntos que são os mais comparáveis ao denominado conjunto de referência, define assim a Nota Técnica nº 0021/2011-SRD/ANEEL.

Para a aplicação do método dinâmico são adotados os parâmetros dispostos na quadro 4 e também encontrados na nota técnica referida acima.

**Quadro 4:** Parâmetros do método dinâmico para os conjuntos elétricos e os treze atributos selecionados.

Parâmetro	Valor
Heterogeneidade	20%
Mínimo de Conjuntos Semelhantes	50
Número Desejável de Conjuntos Semelhantes	100

Fonte: ANEEL, 2011

A heterogeneidade é definida pela equação (7).

$$Heterogeneidade_i^P = \frac{Max(Dist_i^j)}{3 \cdot \sqrt{k}} \quad (7)$$

onde:

$i$  – índice do conjunto de referência;

$j$  – conjuntos próximos ao conjunto  $i$ ;

$Dist_i^j$  – distância euclidiana do conjunto  $i$  para o conjunto  $j$ ;

$n$  – número de conjuntos semelhantes ao conjunto  $i$ ;

$k$  – número de atributos.

Para obter os limites DEC e FEC é considerada a média dos valores apurados dos conjuntos nos últimos três anos. Os conjuntos semelhantes são ordenados de acordo com a média do DEC apurado e o percentil 20 é aplicado para obter o limite dos conjuntos pertencentes ao sistema interligado (ANEEL, 2011).

Sendo assim a Nota Técnica n° 0021/2011-SRD/ANEEL conclui que o Limite é definido pelas equações (8) e (9).

$$\text{Limite}^t = \text{Limite}^0 \left( \frac{\text{Limite}^{final}}{\text{Limite}^0} \right)^{t/T} \quad \text{se} \quad \text{Limite}^0 > \frac{\text{Limite}^{final}}{\text{Limite}^0} \quad (8)$$

$$\text{Limite}^t = \text{Limite}^0 \quad \text{se} \quad \text{Limite}^0 \leq \frac{\text{Limite}^{final}}{\text{Limite}^0} \quad (9)$$

onde,

T – período de transição, considerado de 8 anos;

t – ano em que se deseja calcular os limites;

$\text{Limite}^t$  – limite a ser calculado para o ano t;

$\text{Limite}^0$  – último limite já estabelecido para o conjunto;

$\text{Limite}^{final}$  – limite obtido aplicando o percentil.

Lembrando que os limites dos conjuntos são sempre valores inteiros, razão pela qual se utiliza o primeiro número inteiro superior obtido pelas equações (8) e (9).

### 3.3 Contestações sobre as Definições dos Limites

A constante solicitação por parte das Distribuidoras para a revisão da metodologia utilizada pela ANEEL para a definição dos limites dos indicadores de continuidade, força a agência reguladora ao desenvolvimento de métodos cada vez mais precisos, que consigam definir com maior exatidão os limites que caracterizam cada conjunto.

Um dos últimos estudos realizados pela ANEEL, no que diz respeito à redefinição de limites de continuidade, foi a Revisão da Metodologia de Estabelecimento dos Limites dos Indicadores Coletivos de Continuidade, documento anexo à Nota Técnica n° 0028/2010-

SRD/ANEEL, que ajudou na revisão de novas versões de alguns módulos do PRODIST, e contou com a contribuição de grande parte das distribuidoras.

A revisão em questão tratou dos três principais itens necessários para a definição de um limite de continuidade, e já detalhados na sessão acima, são eles: Atributos do Conjunto, Método de Classificação e Definição dos Limites para os Indicadores Coletivos. Visando manter o foco nas questões relevantes para o conteúdo abordado neste estudo, iremos nos valer apenas da análise referente aos Atributos do Conjunto.

No que diz respeito aos atributos, duas temáticas principais foram abordadas: a necessidade de novos atributos, a exclusão de algum atributo atual; e avaliação dos atributos com base nas correlações. Houve certa convergência entre os agentes no que se refere a necessidade de aumentar o número de atributos de forma a representar melhor os conjuntos, estabeleceu o Anexo.

Foram apresentados novos atributos para a descrição dos conjuntos, que segundo os agentes apresentam características que melhor definem os conjuntos com relação à continuidade. Conforme o Anexo (pags.11 e 12), os principais fatores não gerenciáveis citados foram:

Climáticos – índice cerâmico, índice pluviométrico, grau de salinidade e poluição;

Acesso – índice de infraestrutura viária, segregação dos atributos entre rural e urbano, tempo médio de deslocamento, comprimento dos alimentadores e dispersão dos clientes ao longo das redes e área efetiva de atendimento;

Vegetação – tipo de vegetação e existência de áreas de preservação ambiental;

Nível socioeconômico – índice de desenvolvimento humano, índice de criminalidade, proporção de domicílios sub-normais (favelas e similares), consumo médio e número de unidades consumidoras.

Das características intrínsecas do sistema, foram citadas:

Tecnologia de rede – rede aérea (nua, isolada ou protegida) ou subterrânea e rede malhada ou radial;

Capacidade de manobra e proteção – potência instalada e quantidade de cubículos que permitem transferência de carga;

Pontos de suprimento – quantidade de pontos de suprimento e se pertence ao sistema interligado, sistema isolado de pequeno porte ou sistema isolado de grande porte;

Investimentos – depreciação dos ativos do sistema de distribuição e despesa na manutenção.

Segundo define o Anexo, alguns agentes concordaram com uma certa irrelevância entre a correlação de atributos, e afirmam que o importante é estabelecer atributos que permitam formar agrupamentos homogêneos. A sessão referente aos atributos do conjunto conclui:

Foi verificada uma baixa correlação entre os atributos e os indicadores. DEC e FEC. Algumas contribuições afirmam que o DEC e o FEC são consequências da gestão e não dos atributos, razão da baixa correlação verificada. Já outros agentes opinaram que os indicadores DEC e FEC devem ser refletidos nos atributos e a baixa correlação pode acarretar análises e comparações distorcidas do desempenho das distribuidoras. (Revisão da Metodologia de Estabelecimento dos Limites dos Indicadores Coletivos de Continuidade, Anexo à Nota Técnica nº 0028/2010-SRD/ANEEL, p. 12).

Dentro dos novos atributos apresentados e propostos para a análise, esta a densidade de descargas atmosféricas, base deste estudo e foco da abordagem no decorrer da pesquisa. O primeiro passo para a verificação dos novos atributos e conseqüentemente da densidade atmosférica, foi através do método de Análise Fatorial, buscando assim uma correlação entre os atributos. Os atributos foram divididos em 4 subgrupos para uma melhor caracterização dos mesmos, buscando assim uma diminuição das variáveis. As 28 variáveis foram divididas conformes os seguintes subgrupos apresentados no Anexo:

#### Variáveis Socioeconômicas

- Percentual de pessoas em domicílios com banheiro e água encanada - perc\_pes\_dom\_banh\_agua
- Renda per capita - renda\_pc
- Índice de Desenvolvimento Humano – IDH
- Índice de Gini

#### Características da Área de Concessão

- Índice Pluviométrico Anual - chuva\_anual
- Densidade de Descargas Atmosféricas - dens\_raios
- Densidade de Estradas Pavimentadas - dens\_estradas
- Densidade de Unidades Consumidoras - nuc\_area
- Área da Concessão - area

#### Características do Sistema Elétrico

- Extensão de Rede Aérea Primária - erap
- Potência Nominal Instalada - pni
- Número de Unidades Consumidoras – Classe Residencial - nuc\_r
- Número de Unidades Consumidoras – Classe Industrial - nuc\_i



- Número de Unidades Consumidoras – Classe Comercial - nuc\_com
- Número de Unidades Consumidoras – Classe Rural - nuc\_rur
- Densidade de Consumo por km de Rede - mwh\_km

#### Características do Mercado

- Consumo da Classe Residencial - cons\_r
- Consumo da Classe Industrial - cons\_i
- Consumo da Classe Comercial - cons\_com
- Consumo da Classe Rural - cons\_rur
- Consumo Médio por Unidade Consumidora da Classe Residencial - cons\_med\_r
- Consumo Médio por Unidade Consumidora da Classe Industrial - cons\_med\_i
- Consumo Médio por Unidade Consumidora da Classe Comercial - cons\_med\_com
- Consumo Médio por Unidade Consumidora da Classe Rural - cons\_med\_rur
- Percentual de Consumo da Classe Residencial - perc\_cons\_r
- Percentual de Consumo da Classe Industrial - perc\_cons\_i
- Percentual de Consumo da Classe Comercial - perc\_cons\_com
- Percentual de Consumo da Classe Rural - perc\_cons\_rur

Através do método de Análise Fasorial definiu-se a densidade de descargas atmosféricas como um entre os 13 atributos relevantes para continuação da análise e conseqüentemente candidato a atributo relevante para definição de conjuntos.

Porém na segunda etapa do processo, através da Análise Comparativa não apresentou valores de colinearidade mínimos determinados pelo processo, ou seja, foi considerada irrelevante como atributo na definição dos conjuntos e conseqüentemente não apresentando nenhuma relação direta ou indireta no que se refere à definição de limites de DEC e FEC.

### **3.4 Influência das Descargas Atmosféricas no Rio Grande do Sul**

No que diz respeito a descargas atmosféricas, o estado do Rio Grande do Sul é definitivamente heterogêneo, através do mapa de densidades atmosféricas da figura 6, é possível observar três diferentes zonas de incidência de descargas no estado.

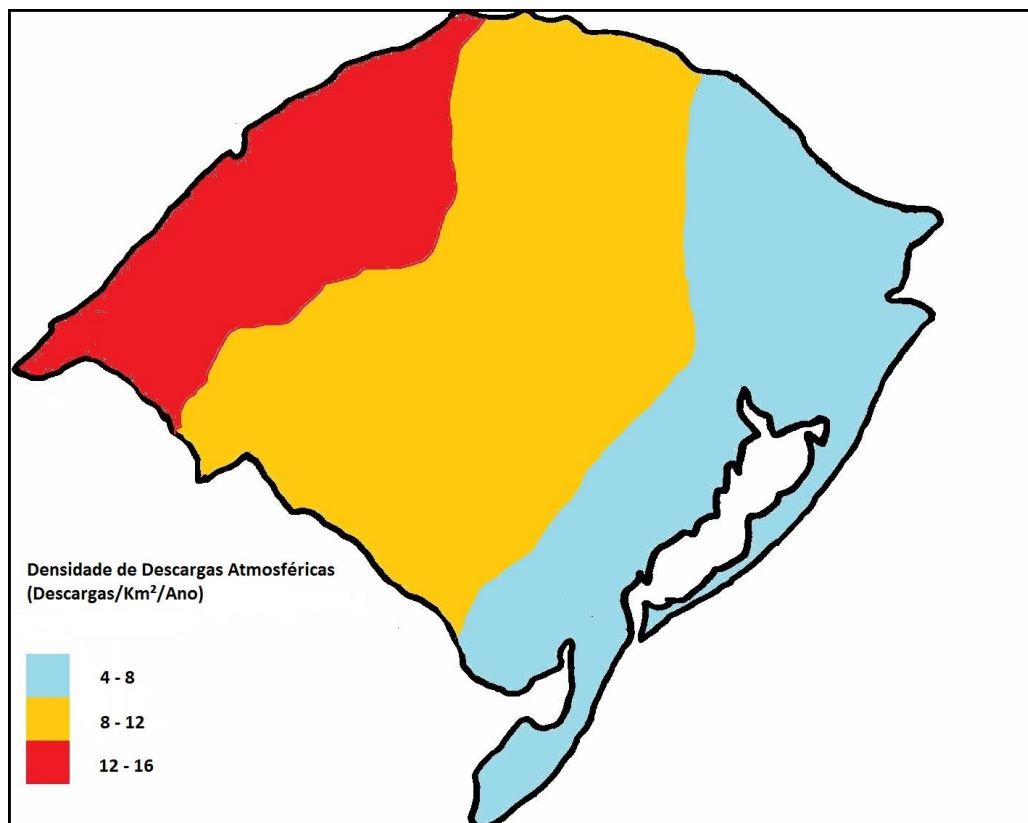
A parte do estado que compreende a Serra Gaúcha, e se estende pela região litorânea que é banhada pelo Oceano Atlântico, passando pela região metropolitana até o ponto mais meridional do Brasil, na divisa com o Uruguai, e que engloba cidades como Caxias do Sul, Porto Alegre e Pelotas, é considerada de média atividade atmosférica, tomando como comparação os índices cerâmicos brasileiros, porém dentro do Rio Grande do Sul é a região

com menor atividade atmosférica, com números de densidade que variam de 4 a 8 descargas por Km<sup>2</sup> por ano.

Na região que começa no Norte do estado, e compreende a região central que engloba o Planalto Médio e grande parte da Depressão Central e vai até a Região da Campanha, localizada a Sudoeste do estado, apresenta uma atividade de moderada-forte para os padrões brasileiros, com índices que variam entre 8 a 12 descargas por km<sup>2</sup> por ano.

Uma área que inicia na Região das Missões, localizada na parte ocidental do estado, que começa a Noroeste e se estende até a divisa com Uruguai e Argentina, na porção mais Oeste do Rio Grande do Sul, que compreende cidades importantes como Santa Rosa, Ijuí, Santiago e Uruguaiana, encontra-se uma das áreas de maior incidência ceráunica do estado e do Brasil, com números que variam entre 12 e 16 descargas atmosféricas por Km<sup>2</sup> por ano. Essa condição ocorre devido a uma série de fatores, especialmente climatológicos, que aliados acabam por colocar o Rio Grande do Sul no topo do ranking brasileiro de mortes por raios.

**FIGURA 6:** Mapa de densidade das descargas atmosféricas do Rio Grande do Sul.



Fonte: O autor

Essa grande atividade atmosférica traz grandes influências no que diz respeito à distribuição de energia elétrica do estado. Na figura 3 que retrata a abrangência da cobertura

das concessionárias do Rio Grande do Sul, é possível visualizar que entre as três grandes distribuidoras, as quais possuem áreas de cobertura com diferentes características atmosféricas, a CEEE é responsável por uma área com menores índices de atividade atmosférica no estado, ou seja, a região litorânea e sul do estado.

As outras duas companhias, RGE e AES Sul, que possuem área de abrangência diversificada dentro do estado no que diz respeito às curvas isocerânicas, além de possuírem áreas com baixa incidência de raios em seus domínios, dividem a responsabilidade pela região mais crítica do estado, ou seja, a Região das Missões, descrita acima.

Para definir quanto essa atividade atmosférica acima da média afeta os indicadores de qualidade, seria interessante uma análise comparativa entre a região com os menores índices cerânicos do estado, ou seja, a região litorânea sul do Rio Grande do Sul (Pelotas, Rio Grande, Arroio Grande), porém alguns fatores tornariam essa comparação inválida. Além de algumas pequenas diferenças geopolíticas e climáticas entre a Região das Missões e a Região Sul do estado, as concessionárias responsáveis pela cobertura de referidas regiões seriam diferentes, sendo assim fatores técnicos oferecidos pelas empresas poderiam alterar a validade do experimento, visto que algumas empresas podem se valer de uma melhor infraestrutura no fornecimento de energia.

Através dos dados de DEC e FEC anuais fornecidos pela ANEEL é possível uma comparação entre a qualidade de energia fornecida pela mesma empresa em regiões de similares, mas com índices cerânicos contrastantes.

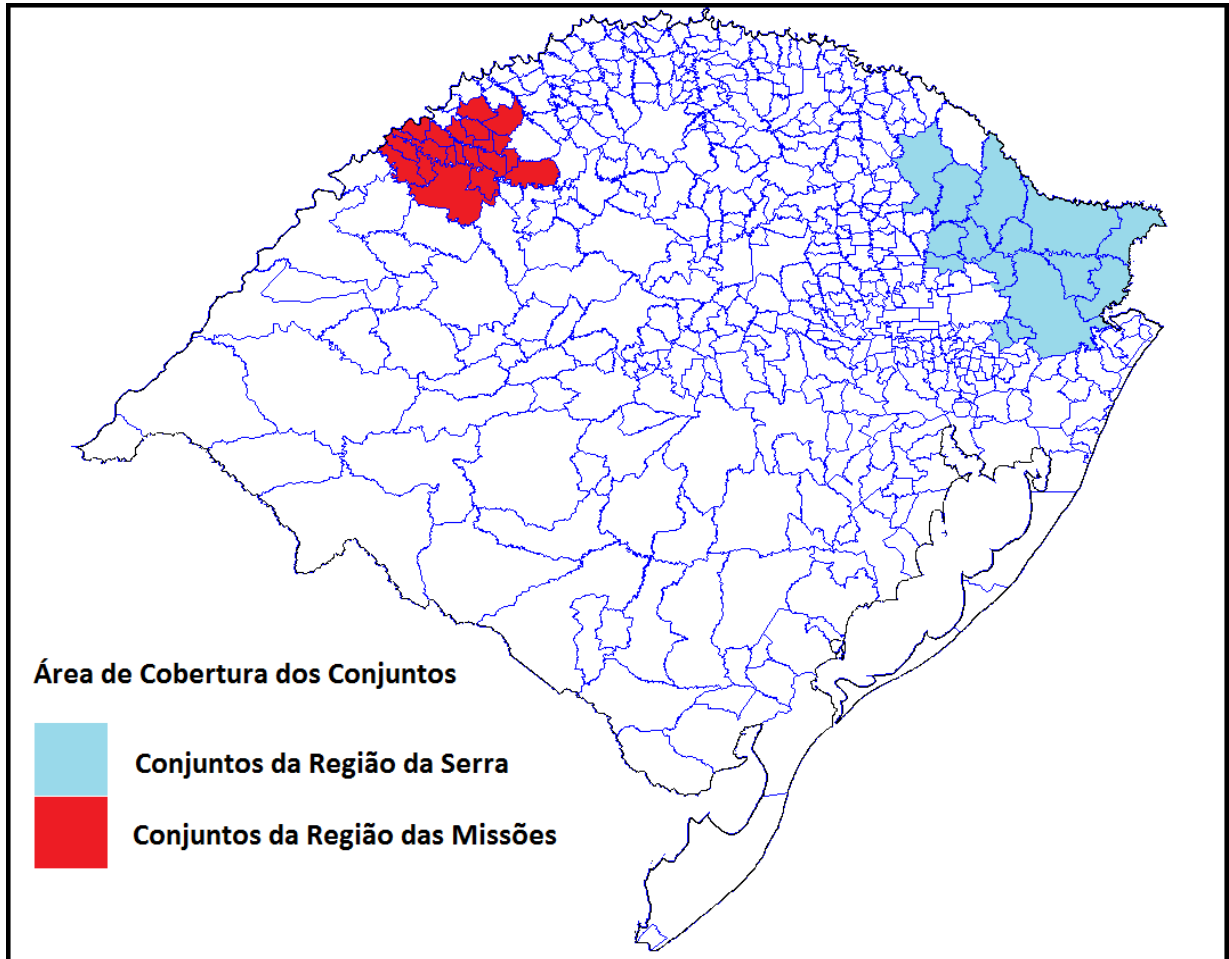
Tomando como base a região de cobertura do Rio Grande Energia (RGE), compreende as regiões nordeste, norte e noroeste do estado, encontra-se duas áreas com características geopolíticas e climáticas muito similares, ou seja, os Campos de Cima da Serra e a Região das Missões. Ambas as regiões apresentam densidade demográfica entre zero e 50 habitantes por km<sup>2</sup>, a economia baseia-se nas atividades rurais, com predomínio para criação de gado e plantações de soja e milho. Essas duas regiões possuem características totalmente opostas no que diz respeito à densidade de descargas atmosféricas por km<sup>2</sup>.

Assim como prevê o PRODIST, a RGE subdivide sua área de cobertura de distribuição em conjuntos, esses conjuntos são caracterizados segundo o Módulo 8 pelos seguintes atributos: área, extensão da rede de média tensão, energia consumida nos últimos 12 meses, número de unidades atendidas, potência instalada, padrão construtivo da rede e localização. Para a análise foram utilizados seis conjuntos para cada região em questão, que estão apresentados abaixo.

Para a Região dos Campos de Cima da Serra é utilizado os seguintes conjuntos: Caxias do Sul 4, Canela, Lagoa Vermelha, Nova Prata 2, Vacaria e Veranópolis. Esses conjuntos são responsáveis pelo abastecimento de energia das cidades de São Francisco de Paula, Canela, Vacaria, Jaquirana, Bom Jesus, Campestre da Serra, São José dos Ausentes, Monte Alegre dos Campos, Ipê, Muitos Capões, Lagoa Vermelha, Antônio Prado, Gramado e Cambará do Sul. A área em questão está representada na figura 7. Alguns municípios que não estão inclusos na relação acima possuem parte da energia distribuída pelos seis conjuntos citados, porém essas cidades também são alimentadas por outros conjuntos que não fazem parte da análise e possuem grande parte dos seus territórios que já não condizem com as características de interesse comparativo, ou seja, algumas áreas de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, Veranópolis, Flores da Cunha.

Os conjuntos que são utilizados na Região das Missões são: Cerro Largo, Santo Ângelo 1, Santo Ângelo 2, Santa Rosa, São Luiz Gonzaga e Santo Cristo. Esses conjuntos têm como função abastecer as seguintes cidades: Santa Rosa, São Luiz Gonzaga, São Nicolau, Dezesseis de Novembro, Pirapó, Roque Gonzáles, Mato Queimado, Rolador, São Pedro do Butiá, Salvador das Missões, Caibaté, Santo Cristo, São Paulo das Missões, Cerro Largo, Porto Xavier, Campina das Missões, Guarani das Missões, Ubiretama, Sete de Setembro, Senador Salgado Filho, Cândido Godoi e Santo Ângelo. A área em questão está representada na figura 7. Assim como no grupo de cidades da região do Noroeste do Rio Grande do Sul, algumas cidades que apesar de apresentarem parte da energia que alimenta a cidade fornecida por um dos seis conjuntos definidos, não fazem parte da análise, pois possuem grande parte do seu território com energia elétrica distribuída por outros conjuntos que não são de interesse do estudo.

**Figura 7:** Área de cobertura dos conjuntos.



Fonte: O autor

Baseado nos índices cerâmicos e da densidade média de descargas atmosféricas, ambos fornecidos pelo INPE, é possível determinar através de uma média aritmética, o valor médio de descargas para as duas regiões em análise. Na tabela 1 estão listadas as cidades da região da Serra Gaúcha assim como as respectivas densidades atmosféricas.

**Tabela 1:** Densidade de descargas atmosféricas das cidades da Serra Gaúcha

<b>Cidade</b>	<b>Densidade de Descargas (km<sup>2</sup>/ano)</b>
Canela	6,39
São Francisco de Paula	5,78
Vacaria	6,11
Jaquirana	5,98
Bom Jesus	6,15
Campestre da Serra	6,46
Monte Alegre dos Campos	6,07
Ipê	6,8
Muitos Capões	6,34
Lagoa Vermelha	6,58
Antônio Prado	6,97
Gramado	6,91
Cambara do Sul	6,52
São José dos Ausentes	7,33

Fonte: INPE, 2015

As cidades da segunda região em questão estão representadas na tabela 2.

**Tabela 2:** Densidade de descargas atmosféricas das cidades da Região das Missões.

<b>Cidade</b>	<b>Densidade de Descargas (km<sup>2</sup>/ano)</b>
Santa Rosa	12,65
São Luiz Gonzaga	14,78
São Nicolau	14,8
Dezesseis de Novembro	13,75
Pirapó	14,34
Roque Gonzales	14,01
Mato Queimado	14,21
Rolador	14,33
São Pedro do Butiá	16,07
Salvador das Missões	14,5
Cerro Largo	14,51
Porto Xavier	14,47
Santo Cristo	13,57
Senador Salgado Filho	13,72
Sete de Setembro	13,8
São Paulo das Missões	14,35
Caibaté	14,11
Campina das Missões	14,36
Guarani das Missões	14,12
Ubiretama	13,95
Candido Godoi	14,01
Santo Ângelo	13,56

Fonte: INPE, 2015

Com os dados apresentados na tabela 1 e 2 é matematicamente simples determinar uma média de descargas atmosféricas para cada região. A Região dos Campos de Cima da Serra a ser analisada apresenta uma média de 6,45 descargas atmosféricas por km<sup>2</sup> por ano, enquanto os conjuntos da Região das Missões apresentam uma média de 14,18 descargas atmosféricas por km<sup>2</sup> por ano.

Utilizando a análise anterior, quando foi possível caracterizar duas regiões de incidência de descargas atmosféricas bem distintas dentro da área de cobertura da RGE, apresentado uma análise aos indicadores de continuidade coletivos DEC e FEC de cada um dos conjuntos incluídos dentro das suas respectivas regiões.

Considerando que as densidades de descargas atmosféricas fornecidos pelo INPE, para cada análise/região em questão não apresentam grande variação ao longo dos anos, visto que são calculados a partir de uma coleta histórica de dados, e sendo assim tendem a um índice que cada vez mais se aproximam da realidade, à medida que a amostragem cresce ano após ano, tornando assim os indicadores de continuidade como as únicas variáveis a serem analisadas.

Cada conjunto em questão possui valores de DEC e FEC anuais, assim como os limites para os indicadores em questão, que são impostos pela ANEEL. Vale reforçar que ano a ano a ANEEL procura aplicar limites cada vez menores, forçando assim as empresas a melhorarem a qualidade do produto oferecido.

Para que o estudo não sofra interferência de fatos isolados, seja através de fenômenos climatológicos atípicos, falhas incomuns, ou qualquer outro fator que influencie os indicadores de continuidade, os dados analisados não serão limitados a um único ano, mas sim a um período de quatro anos, com uma amostragem maior de dados será possível observar a tendência dos indicadores, e excluir assim qualquer chance de uma análise em cima de dados atípicos, que não caracterizem a realidade.

Tendo em vista as várias modificações que ocorreram nos conjuntos entre os anos de 2010 e 2011, e assim acabaram por criar novos conjuntos, extinguir conjuntos antigos e até modificar os limites de conjuntos que permanecerem com as mesma denominação, foi utilizado os dados históricos para os indicadores de continuidade coletivos entre os anos de 2011 e 2014, pois nesse período os conjuntos em questão mantiveram suas formações e limites.

Os dados dos indicadores de continuidade das concessionárias que apresentados nas tabelas 3, 4, 6 e 7 foram obtidos através do website da ANEEL. É possível obter os indicadores anuais e mensais para cada conjunto, porém a análise mensal não trará nenhum

benefício para o estudo, pelo fato que os limites estabelecidos pela ANEEL serem anuais, não é possível uma comparação entre os valores medidos e os limites, sendo assim o estudo usa apenas os indicadores anuais.

O primeiro dos indicadores de continuidade a ser analisado é o FEC, indicador que representa o número de interrupções médio que um consumidor sofre por ano. As tabelas 3 e 4 apresentam os dados anuais para as duas regiões em questão. As tabelas possuem três tópicos para análise: o FEC Apurado, valor obtido através da coleta de dados anual e fornecido ANEEL; o FEC Limite, valor pré-determinado para cada conjunto e também fornecido pela ANEEL; e o Desvio FEC, valor obtido através de uma razão matemática entre FEC Apurado e FEC Limite, e expresso em valores percentuais, se a porcentagem apresentar valor negativo, o indicador encontra-se dentro do limite, caso o valor seja positivo, o indicador encontra-se acima do limite, conforme a equação (10).

$$Desvio\ FEC = \frac{FEC\ Apurado}{FEC\ Limite} - 1 \quad (10)$$

A tabela 3 apresenta os dados para os seis conjuntos que caracterizam a Região da Serra, enquanto a tabela 4 apresenta o FEC para os dados conjuntos que caracterizam a Região das Missões.



**Tabela 3:** Dados de FEC para os conjuntos da Região Serrana.

<b>Conjunto</b>	<b>Ano</b>	<b>FEC Apurado</b>	<b>FEC Limite</b>	<b>Desvio FEC</b>
<b>Vacaria</b>	2011	12,34	14	-11,86%
	2012	7,85	14	-43,93%
	2013	13,88	14	-0,86%
	2014	9,13	13	-29,77%
<b>Caxias 4</b>	2011	6,61	9	-26,56%
	2012	6,54	9	-27,33%
	2013	7,74	9	-14,00%
	2014	7,52	9	-16,44%
<b>Lagoa Vermelha</b>	2011	12,08	14	-13,71%
	2012	9,79	14	-30,07%
	2013	10,54	14	-24,71%
	2014	10,5	13	-19,23%
<b>Veranópolis</b>	2011	7,48	14	-46,57%
	2012	5,98	12	-50,17%
	2013	6,54	11	-40,55%
	2014	11,71	11	6,45%
<b>Canela</b>	2011	10,95	13	-15,77%
	2012	9,01	12	-24,92%
	2013	8,26	12	-31,17%
	2014	9,76	12	-18,67%
<b>Nova Prata 2</b>	2011	10,35	16	-35,31%
	2012	10,21	15	-31,93%
	2013	10,3	14	-26,43%
	2014	14,9	13	14,62%

Fonte: ANEEL, 2015

**Tabela 4:** Dados de FEC para os conjuntos da Região das Missões.

<b>Conjunto</b>	<b>Ano</b>	<b>FEC Apurado</b>	<b>FEC Limite</b>	<b>Desvio FEC</b>
<b>Santo Ângelo 1</b>	2011	7,11	15	-52,60%
	2012	10,51	14	-24,93%
	2013	9,49	14	-32,21%
	2014	16,43	13	26,38%
<b>Santo Ângelo 2</b>	2011	9,36	15	-37,60%
	2012	16,08	14	14,85%
	2013	12,56	14	-10,28%
	2014	16,43	13	-26,38%
<b>Cerro Largo</b>	2011	18,69	20	-6,55%
	2012	18,25	18	1,39%
	2013	17,47	16	9,19%
	2014	20,77	15	38,47%
<b>Santa Rosa</b>	2011	12,16	15	-18,93%
	2012	7,5	14	-46,43%
	2013	17,86	14	27,57%
	2014	13,33	13	2,54%
<b>São Luiz Gonzaga</b>	2011	11,3	15	-24,67%
	2012	9,46	15	-36,93%
	2013	16,59	14	18,50%
	2014	19,54	13	50,31%
<b>Santo Cristo</b>	2011	18,38	15	22,53%
	2012	11,74	15	-21,73%
	2013	13,95	14	-0,36%
	2014	18,45	13	41,92%

Fonte: ANEEL, 2015

Conforme os dados contidos na tabela 3, a Região da Serra apresentou de uma forma geral valores de FEC excelentes para os seis conjuntos em questão, no período que compreende os quatro anos de análise, somente em dois conjuntos apresentaram FEC acima do limite, Veranópolis e Nova Prata, ambos no ano de 2014 e extrapolaram os limites exigidos pela ANEEL em 6,45% e 14,62%, respectivamente. Todos os demais resultados se encontraram dentro do esperado.

Para a Região das Missões conforme a tabela 4, os valores de FEC alternam bastante entre os conjuntos, Santo Ângelo 1 e Santo Ângelo 2 apresentaram resultados satisfatórios, e

sempre se mantiveram dentro dos limites. Os demais conjuntos tiveram uma grande oscilação, com alguns anos dentro dos limites e outros anos muito acima dos limites, como é o caso de Santa Rosa, que no ano de 2012 apresentou um Desvio FEC de -46,43%, e já para o ano seguinte (2013), excedeu o limite em 27,57%.

Como o estudo busca uma análise comparativa entre duas regiões com densidade de descargas atmosféricas diferentes, é interessante que todos os valores de Desvio de FEC dos conjuntos sejam agrupados, conforme suas respectivas regiões, desta forma é possível uma análise entre a Região da Serra e a Região das Missões. A tabela 5 apresenta o Desvio FEC de cada região conforme seu respectivo ano. O Desvio Médio FEC de cada região foi obtido através de uma média aritmética simples.

**Tabela 5:** Desvio Médio de FEC.

Ano	Desvio Médio FEC	
	Região Serrana	Região das Missões
2011	-24,96%	-19,64%
2012	-34,73%	-18,96%
2013	-22,95%	2,07%
2014	-10,51%	31,00%

Fonte: O autor

Conforme apresentado na tabela 5, a Região Serrana apresenta um Desvio Médio de FEC sempre abaixo dos limites, enquanto a Região das Missões apresenta Desvio Médio de FEC dentro dos limites apenas para os dois primeiros anos, 2011 e 2012, e valores acima do limite para os anos subsequentes, 2013 e 2014.

Porém em uma comparação direta entre as regiões, para os quatro anos analisados, mesmo a Região das Missões apresentando alguns anos com valores de FEC dentro do padrão exigido pela ANEEL, os valores de FEC coletados sempre tiveram desempenho inferiores aos da Região Serrana.

Ambas regiões apresentam características climatológicas, populacionais, climáticas e econômicas muito similares, porém os indicadores de qualidade apresentam uma enorme discrepância nos resultados apurados, o fator que pode ser relevante para a diferença é a densidade de descargas atmosféricas entre as regiões. As regiões analisadas apresentam um índice cerâmico com considerável diferença, como abordado na seção 3.2 e 3.3, a densidade de descargas atmosféricas é desprezada pela ANEEL no cálculo para a definição dos indicadores de continuidade, e que em um primeiro momento esse fator mostrou-se relevante nos resultados finais.

O segundo indicador de continuidade coletivo que analisado é o DEC, indicador que mostra o tempo médio que um consumidor de um conjunto considerado ficou sem energia elétrica. Assim como foi feito na análise de FEC, os dados de FEC estão apresentados em duas tabelas, uma para cada região. As tabelas possuem três tópicos para análise: o DEC Medido, valor obtido através da coleta de dados anual e fornecido ANEEL; o DEC Limite, valor pré-determinado para cada conjunto e também fornecido pela ANEEL; e o Desvio DEC, valor obtido através de uma razão matemática entre DEC Apurado e DEC Limite, e expresso em valores percentuais, se a porcentagem apresentar valor negativo, o indicador encontra-se dentro do limite, caso o valor seja positivo, o indicador encontra-se acima do limite, conforme a equação (11).

$$\text{Desvio DEC} = \frac{\text{DEC Apurado}}{\text{DEC Limite}} - 1 \quad (11)$$

A tabela 6 apresenta os dados para os seis conjuntos que caracterizam a Região da Serra, enquanto a tabela 7 apresenta o DEC para os dados conjuntos que caracterizam a Região das Missões.

**Tabela 6:** Dados de DEC para os conjuntos da Região Serrana

<b>Conjunto</b>	<b>Ano</b>	<b>DEC Apurado</b>	<b>DEC Limite</b>	<b>Desvio DEC</b>
<b>Vacaria</b>	2011	14,09	17	-17,12%
	2012	11,65	16	-27,19%
	2013	24,8	15	65,33%
	2014	17,94	15	19,60%
<b>Caxias 4</b>	2011	11,1	14	-20,71%
	2012	11,71	14	-16,36%
	2013	16,25	14	16,07%
	2014	21,36	14	52,57%
<b>Lagoa Vermelha</b>	2011	21,51	21	2,43%
	2012	14,78	21	-29,62%
	2013	26,89	20	34,45%
	2014	21,89	20	9,45%
<b>Veranópolis</b>	2011	13,21	17	-22,29%
	2012	12,31	16	-23,06%
	2013	16,82	15	12,13%
	2014	27,62	15	84,13%
<b>Canela</b>	2011	16,5	19	-13,16%
	2012	17,25	18	-4,17%
	2013	18,14	17	6,71%
	2014	20,54	17	20,82%
<b>Nova Prata 2</b>	2011	13,68	20	-31,60%
	2012	15,65	18	-13,06%
	2013	16,84	17	-0,94%
	2014	24,21	17	42,41%

Fonte: ANEEL, 2015

**Tabela 8:** Dados de DEC para os conjuntos da Região das Missões

<b>Conjunto</b>	<b>Ano</b>	<b>DEC Apurado</b>	<b>DEC Limite</b>	<b>Desvio DEC</b>
<b>Santo Ângelo 1</b>	2011	15,2	19	-20,00%
	2012	16,14	18	-10,33%
	2013	15,64	17	-8,00%
	2014	22,06	16	37,88%
<b>Santo Ângelo 2</b>	2011	18,12	19	-4,63%
	2012	27,2	18	51,11%
	2013	26,75	17	57,35%
	2014	35,57	16	122,31%
<b>Cerro Largo</b>	2011	26,22	28	-6,36%
	2012	26,28	28	-6,14%
	2013	28,68	27	6,22%
	2014	37,37	25	49,48%
<b>Santa Rosa</b>	2011	13,01	9	44,56%
	2012	12,25	9	36,11%
	2013	15,37	9	70,78%
	2014	18,97	9	110,78%
<b>São Luiz Gonzaga</b>	2011	24,58	19	29,37%
	2012	23,69	18	31,61%
	2013	34,36	17	102,12%
	2014	44,2	16	176,25%
<b>Santo Cristo</b>	2011	28,3	28	1,07%
	2012	24,01	26	-7,65%
	2013	21,98	24	-8,42%
	2014	36,82	22	67,36%

Fonte: ANEEL, 2015

Conforme os dados da tabela 6, os conjuntos da Região da Serra apresentarem bons indicadores de DEC para os anos de 2011 e 2012, onde quase todos os conjuntos apresentaram valores de DEC abaixo do limite, com exceção de Lagoa Vermelha em 2011. Já para os anos de 2013 e 2014, com exceção a Nova Prata 2 em 2013, todos os demais conjuntos apresentaram valores de DEC acima do limite, com ênfase para Veranópolis que excedeu em 84,13% o limite determinado para o ano de 2014.

Os conjuntos que representam a Região das Missões, conforme a tabela 7 não obtiveram resultados satisfatórios, e para os quatros anos em questão, no melhor cenário, o ano de 2012, ainda assim apresentou metade dos seus conjuntos acima dos limites exigidos

pela ANEEL. No pior cenário, o ano de 2014, todos os seis conjuntos estiveram além dos seus respectivos limites, sendo que os conjuntos São Luiz Gonzaga, Santo Ângelo 2 e Santa Rosa superaram os limites em mais de duas vezes.

Considerando os desempenhos individuais de cada conjunto, e agrupando os valores de Desvio de DEC com suas respectivas regiões, de forma que cada região apresente um Desvio de DEC médio para cada ano, é possível uma análise comparativa entre as regiões. O Desvio Médio DEC de cada região foi obtido através de uma média aritmética simples. Os resultados obtidos estão representados na tabela 8.

**Tabela 8:** Desvio Médio de DEC.

Ano	Desvio Médio DEC	
	Região Serrana	Região das Missões
2011	-17,08%	7,33%
2012	-18,91%	15,78%
2013	22,29%	36,68%
2014	38,17%	94,01%

Fonte: O autor

Conforme os dados da tabela 8, a Região Serrana apresentou bons indicadores para os anos de 2011 e 2012, e esteve abaixo dos limites médios de DEC em 17,08% e 18,91% respectivamente, porém a região ficou acima dos padrões mínimos para os anos de 2013 e 2014, excedendo em 22,29% e 38,17% os limites de DEC. Para a Região das Missões os resultados não foram satisfatórios em nenhum dos anos analisados, o desvio médio de DEC para a região esteve sempre acima dos limites mínimos, e cresceu ano após ano, o melhor dos casos foi para o ano de 2011, com 7,33% acima, já o pior caso ocorreu em 2014, quando o desvio médio foi de 94,01%.

Assim como ocorreu na análise de FEC na comparação entre regiões, o mesmo padrão se sucede para o indicador de continuidade DEC, o desvio médio apresenta um *gap* considerável entre os resultados obtidos na Região das Missões em comparação a Região Serrana. Para o melhor dos casos, no que se refere à diferença entre as regiões, no ano de 2013, quando a Região Serrana esteve 22,29% além dos padrões desejáveis, a Região das Missões ultrapassou o limite em 36,68%. O último ano de análise, 2014, apresentou a maior diferença dentre os resultados obtidos, 55,84%.

### 3.5 Análise dos Resultados

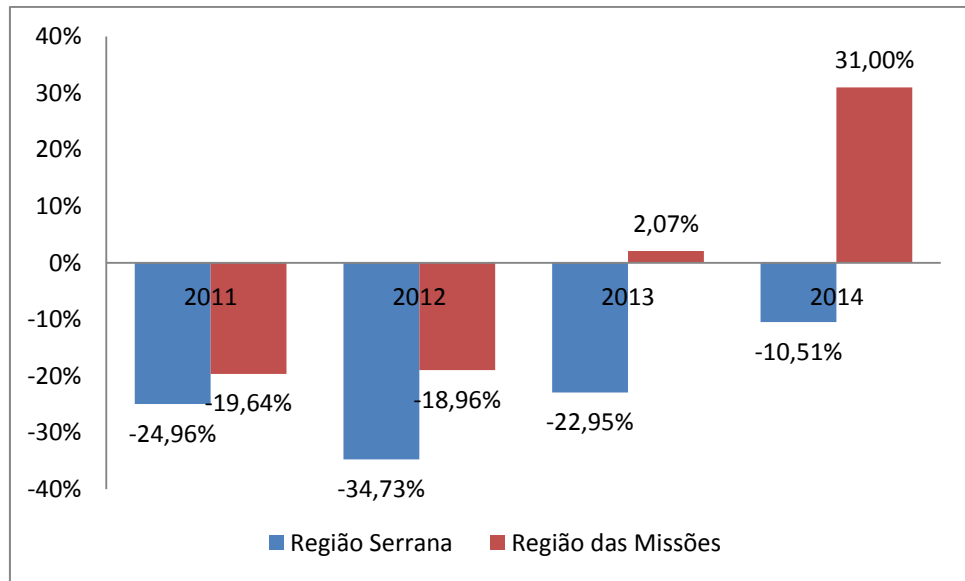
Os dados coletados são referentes aos indicadores de continuidade coletivos DEC e FEC, ambos os indicadores estão relacionados às interrupções de energia elétrica, e tem a função de caracterizar os serviços prestados pela distribuidora, e assim transformar em números o quão bom, ou ruim é o serviço, porém cabe a cada um dos indicadores quantizarem uma área em especial.

O DEC quantifica o tempo médio que um consumidor do conjunto ficou sem energia elétrica em um determinado período de tempo, estima-se que quanto maior o número de interrupções, maior será o tempo que o consumidor ficará sem energia elétrica. Além da relação com a interrupção, o DEC está diretamente ligado ao tempo que a distribuidora leva para prestar o serviço de manutenção, e reestabelecer o fornecimento de energia. O tempo de manutenção engloba duas variáveis: o tempo para atender a ocorrência, ou seja, o tempo que a distribuidora leva para identificar a interrupção e deslocar uma equipe de manutenção até o local; e o tempo para resolver a falha do sistema, e que está diretamente ligado a gravidade da interrupção.

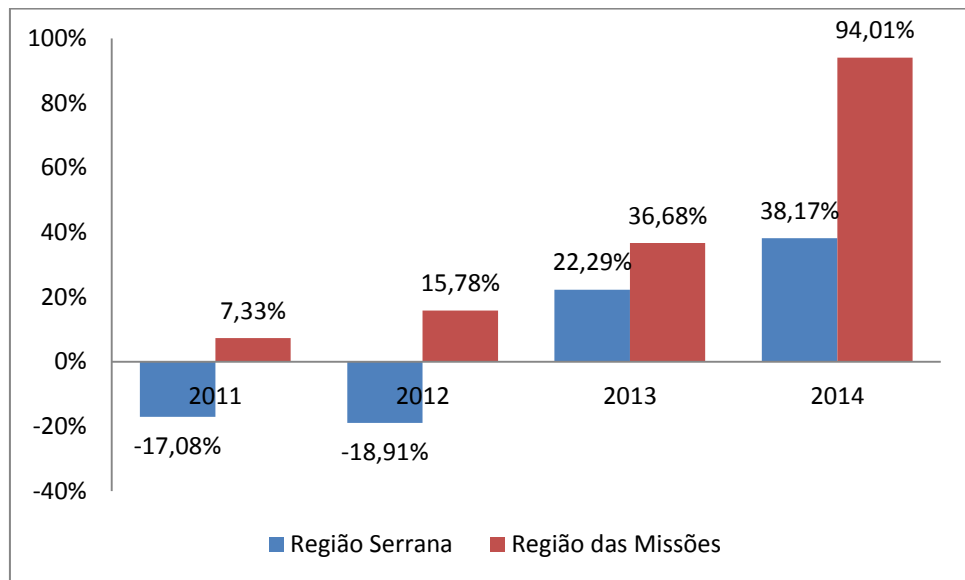
O FEC demonstra o número de interrupções médio que um consumidor do conjunto considerado sofreu em um determinado período de tempo. As interrupções contabilizadas e que alteram os valores de FEC são somente as de longa duração, ou seja, interrupções que durem mais de 3 minutos. As interrupções de duração inferior a 3 minutos são classificadas como de curta duração, geralmente são solucionadas automaticamente pelo sistema através de religadores e não são contabilizadas, sendo assim não afetam os valores de FEC.

Os indicadores coletados para as regiões em questão, a Região Serrana e a Região das Missões apresentaram valores distintos em relação aos seus respectivos limites, tanto no que diz respeito ao tempo que os consumidores permaneceram sem energia, DEC, quanto na frequência de interrupções sofridas pelos consumidores. A figura 8 e figura 9 apresentam os valores contidos na tabela 5 e tabela 8, valores relativos ao desvio médio que as distribuidoras tiveram em relação aos limites de DEC e FEC.



**Figura 8:** Desvio Médio de FEC.

Fonte: O autor

**Figura 13:** Desvio Médio de DEC.

Fonte: O autor

Na figura 8, que apresenta a evolução do desvio médio de DEC, ou seja, quão acima ou abaixo os indicadores médios estão em relação aos seus respectivos limites de DEC, esta evidente a diferença entre os números apresentados pela Região Serrana e a Região das Missões no que diz respeito as interrupções de energia que os consumidores tiveram. Para todo o período analisado e questão, os consumidores da Região das Missões ficaram um tempo muito maior sem energia elétrica que os consumidores da Região Serrana.

Na figura 9, que apresenta a evolução do desvio médio de FEC, ou seja, quão acima ou abaixo os indicadores médios estão em relação aos seus respectivos limites de FEC, segue a tendência do que ocorreu para o primeiro indicador, a diferença não é tão discrepante, mas é possível observar uma diferença considerável entre os valores apresentados entre as duas regiões. Os consumidores da Região das Missões foram mais afetados por interrupções que os consumidores da Região Serrana.

Vários fatores apresentam influência sobre os indicadores de continuidade, certamente o principal fator é referente infraestrutura de rede, quanto maior o investimento em novas tecnologias, renovação de equipamentos e a manutenção, melhores serão os indicadores de continuidade. Fatores climatológicos também apresentam grande influência sobre os indicadores, descargas atmosféricas, vento, chuva, altas temperaturas e que podem ser previamente estudados pelas distribuidoras, que trabalha de forma preventiva, procurando minimizar possíveis adversidades climatológicas, porém nem sempre podem ser evitados. Também ocorrem problemas gerados por terceiros e que estão fora do alcance das distribuidoras na questão preventiva, como colisões de veículos com postes, objetos em contato com a rede.

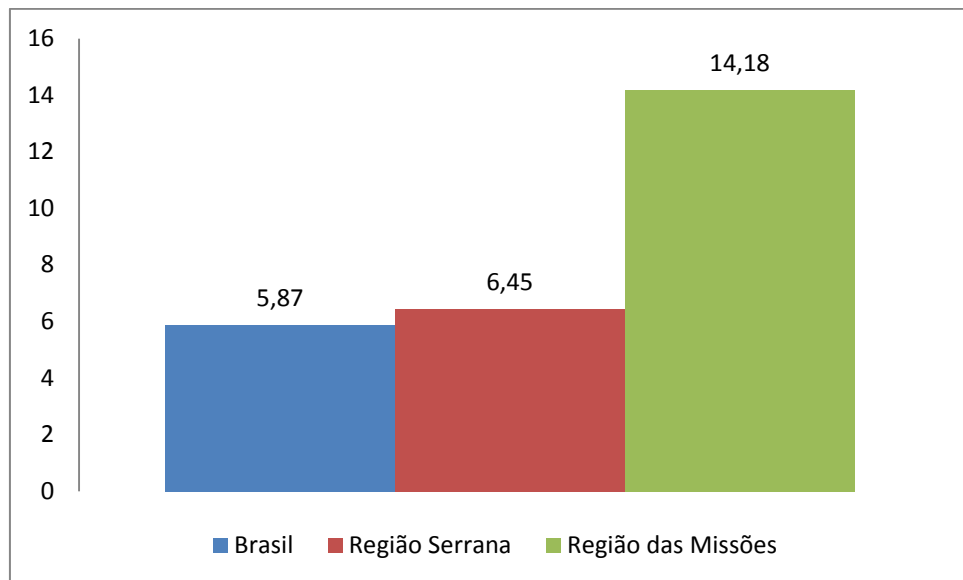
As duas regiões em foco deste estudo estão dentro da mesma área de concessão, ou seja, a Região Serrana e a Região das Missões estão dentro da cobertura da RGE. Sendo assim, espera-se que os serviços prestados, a tecnologia, os equipamentos utilizados e a manutenção preventiva sejam iguais para ambas às regiões. Também é similar entre as regiões, as questões geográficas e econômicas, predominando vegetação rasteira e economia agrícola, o que minimiza as diferenças de possíveis interrupções na rede causadas por terceiros.

Apesar da proximidade geográfica entre as duas regiões, aproximadamente 400 km, elas apresentam algumas diferenças meteorológicas, especialmente no que diz respeito à densidade de descargas atmosféricas. Segundo estudos realizados pelo INPE, no Brasil aproximadamente 40% das interrupções na distribuição da energia elétrica são causados por descargas atmosféricas. Como o número apresentado pelo INPE é uma média de âmbito nacional, ou seja, o estudo engloba regiões com alta e baixa densidade de descargas atmosféricas, conseqüentemente regiões com alto índice de descargas atmosféricas podem sofrer maior influência sobre as descargas, se comparadas com regiões de baixa incidência de descargas atmosféricas.

Com base nos dados apresentados nas tabelas 1 e 2, que fornecem as densidades de descargas atmosféricas para as regiões em questão, e que estão baseadas em 15 anos de coleta

de dados, a Região Serrana apresenta uma média de 6,45 descargas atmosféricas por km<sup>2</sup> por ano, enquanto a Região das Missões, conhecida com uma das áreas de maior incidência de raios do Brasil, apresenta uma média de 14,18 descargas atmosféricas por km<sup>2</sup> por ano, o que gera uma diferença de aproximadamente 120% entre as regiões analisadas. Para efeito de comparação, o Brasil é atingido por aproximadamente 50 milhões de descargas atmosféricas por ano, ao longo dos seus 8.512.000 km<sup>2</sup>, ou seja, uma densidade de 5,87 descargas atmosféricas por km<sup>2</sup> por ano, através da figura 10 é possível observar à diferença entre as regiões em questão.

**Figura 10:** Densidade de Descargas Atmosféricas (km<sup>2</sup>.ano)



Fonte: O autor

Considerando os estudos do INPE, que revelam que no Brasil aproximadamente 40% das interrupções na distribuição da energia elétrica são causados por descargas atmosféricas, certamente regiões que apresentam uma elevada densidade de descargas atmosféricas irão sofrer uma incidência maior de descargas sobre suas redes de distribuição, e consequentemente sofrer uma influência maior sobre seus indicadores de continuidade.

Conforme os dados coletados dos indicadores de continuidade e das densidades de descargas atmosféricas para a Região Serrana e para a Região das Missões que foram apresentados acima, ficou comprovada uma relação direta entre os fatores em questão. Os piores indicadores de continuidade sempre foram apresentados pela região com a maior densidade de descargas atmosféricas, tanto para DEC quanto para FEC, no caso a Região das Missões. Não é possível definir numericamente a relação que os altos índices de descargas

atmosféricas apresentam sobre a rede, para isso seria necessário uma apuração de todas as interrupções sofridas na região durante o período analisado, assim como suas causas, e desta forma calcular o número exato de interrupções causadas por descargas, porém o acesso a esses dados é restrito, e muitas distribuidoras nem os possuem, devido a complexidade para a obtenção dos mesmo, visto que grande parte das interrupções tem causa desconhecida.

### **3.6 Considerações sobre os Limites dos Indicadores e Densidades de Descargas Atmosféricas**

Constatada a influência direta da densidade de descargas atmosféricas sobre os indicadores de continuidade, abre a possibilidade de uma possível revisão conceitual por parte da ANEEL e até das distribuidoras em relação ao assunto.

Como abordado nas seções 3.2 e 3.3, através do PRODIST, onde a ANEEL busca regulamentar os serviços de distribuição de energia elétrica no Brasil, ocorre uma negligência por parte do órgão regulamentador em questão, que não se vale da utilização das densidades atmosféricas para a caracterização dos conjuntos e conseqüentemente a definição dos limites dos indicadores de continuidade.

Os estudos comprovaram a influência que os conjuntos sofrem quando localizados em regiões com grande incidência de descargas atmosféricas, tornando assim necessário a implementação deste fator junto a lista de atributos utilizado pela ANEEL para definir os limites. É necessário uma coleta de dados de âmbito nacional, para assim determinar o grau de importância que esse novo atributo teria sobre o valor final do limite.

A inserção da densidade de descargas atmosféricas aos atributos que caracterizam os conjuntos reduziria a distorção dos limites impostos pela ANEEL. Regiões com maior incidência de descargas atmosféricas teriam limites dos indicadores de continuidade elevados, enquanto regiões com menor incidência de descargas teriam menores limites de continuidade.

Comumente utilizado pelas distribuidoras como justificativa pelos péssimos indicadores de continuidade, a utilização da densidade de descargas atmosféricas colocaria fim as inúmeras notas técnicas recebidas pela ANEEL solicitando a flexibilização dos limites e conseqüentemente das multas que deveriam ser impostas as distribuidoras por infringir os limites impostos.

#### 4. CONCLUSÃO

Considerando as grandes dimensões territoriais do Brasil, como apresentado ao longo do estudo, há diferentes densidades de descargas atmosféricas ao longo dos seus limites, áreas com incidência de descargas atmosféricas muito elevadas, e áreas com incidência de descargas atmosféricas próximas a zero.

A influência que as descargas atmosféricas apresentam sobre as interrupções na distribuição da energia elétrica são relevantes e, conseqüentemente, afetam os indicadores de continuidade coletivos, e trazem prejuízos na qualidade da energia elétrica fornecida pelas distribuidoras aos seus consumidores.

Sendo a densidade de descargas atmosféricas um fator relevante na qualidade da energia elétrica distribuída, seria interessante que a ANEEL passasse a considerar esses dados para a definição dos limites dos indicadores de continuidade de energia, caracterizando assim os conjuntos distribuidores da forma mais realista possível, conforme suas peculiaridades.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELEÉTRICA, ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 1 - Introdução.** Resolução Normativa nº 655/2015. Brasília/DF, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELEÉTRICA, ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica.** Resolução Normativa nº 641/2014. Brasília/DF, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELEÉTRICA, ANEEL. **Revisão da Metodologia de Estabelecimento dos Limites dos Indicadores Coletivos de Continuidade - Documento Anexo à Nota Técnica nº 0028/2010-SRD/ANEEL.** Brasília/DF, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELEÉTRICA, ANEEL. **Nota Técnica nº 0021/2011-SRD/ANEEL.** São Paulo/SP, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Proteção Contra Descargas Atmosféricas - NBR 5419.** Brasília/DF, 2010.

DECKMANN, S. M. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica.** Campinas/SP, Unicamp, 2010.

POMALIS, M. **Qualidade de Energia: Qualidade de Serviço X Regulação Aneel. Estudo de Caso - DEC e FEC do Município de Novo Hamburgo.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia em Energia e Desenvolvimento Sustentável, UERGS, 2011.

SILVA, N P. et al. **Avaliação do Impacto das Descargas Atmosféricas na Qualidade de Energia Fornecida pelas Concessionárias: Estudo de Caso em uma Empresa de Distribuição de Energia do Sul do País.** Ituverava/MG, Nucleus, 2010.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Geração e Transmissão de Energia.** Disponível em:  
<[http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu\\_filho=799&cod\\_menu=796&tipo\\_menu=INFRA&cod\\_conteudo=1356](http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=799&cod_menu=796&tipo_menu=INFRA&cod_conteudo=1356)> Acesso em: 20 de agosto de 2015.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Distribuição de Energia.** Disponível em:  
<[http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu\\_filho=799&cod\\_menu=796&tipo\\_menu=INFRA&cod\\_conteudo=1358](http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=799&cod_menu=796&tipo_menu=INFRA&cod_conteudo=1358)> Acesso em: 20 de agosto de 2015.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Consumo de Energia.** Disponível em:  
<[http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu\\_filho=799&cod\\_menu=796&tipo\\_menu=INFRA&cod\\_conteudo=1358](http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=799&cod_menu=796&tipo_menu=INFRA&cod_conteudo=1358)> Acesso em: 20 de agosto de 2015.

RIO GRANDE ENERGIA S/A, RGE. **RGE é agraciada como a melhor distribuidora de energia elétrica do Brasil.** Disponível em:  
<<http://www.rge-rs.com.br/releases/paginas/rge-e-agraciada-como-a-melhor-distribuidora-de-energia-eletrica-do-brasil.aspx>> Acesso em: 27 de agosto de 2015.

COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CEEE-D. **A CEEE Distribuição.** Disponível em: <<http://www.cee.com.br/pportal/cee/Component/Controller.aspx?CC=1755>> Acesso em: 28 de agosto de 2015.

AES SUL DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A. **Perfil.** Disponível em: <<https://www.aessul.com.br/site/empresa/Perfil.aspx>> Acesso em: 28 de agosto de 2015.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, ONS. **Mapas do SIN.** Disponível em: < [http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/mapas\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx)> Acesso em: 7 de setembro de 2015.

INSITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – GRUPO DE ELETRIDADE ATMOSFÉRICA, INPE/ELAT. **Sistema Elétrico.** Disponível em: < <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/relampagos.e.efeitos/sistema.eletrico.php>> Acesso em: 9 de setembro de 2015.

INSITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – GRUPO DE ELETRIDADE ATMOSFÉRICA, INPE/ELAT. **Ranking de Municípios.** Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/ranking.de.municipios.php>> Acesso em: 7 de setembro de 2015.

INSITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – GRUPO DE ELETRIDADE ATMOSFÉRICA, INPE/ELAT. **Ocorrência na Terra.** Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/ocorrencia.na.terra.php> Acesso em: 8 de setembro de 2015.