

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós-Graduação em Matemática em Rede
Nacional
Mestrado em Matemática

Usando médias como ferramenta para minimizar perdas de energia elétrica

Glauco Sérgio Sales da Silva

JOÃO PESSOA – PB
AGOSTO DE 2019

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós-Graduação em Matemática em Rede
Nacional
Mestrado em Matemática

Usando médias como ferramenta para minimizar perdas de energia elétrica

por

Glauco Sérgio Sales da Silva

sob a orientação da

Profa. Dra. Miriam da Silva Pereira

João Pessoa – PB
Agosto de 2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586u Silva, Glauco Sergio Sales da.

Usando médias como ferramenta para minimizar perdas de energia elétrica / Glauco Sergio Sales da Silva. - João Pessoa, 2020.

61 f. : il.

Orientação: Miriam Silva Pereira.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Perdas Comerciais. 2. Médias. 3. Degrau de Consumo.
4. Recuperação de Energia. I. Pereira, Miriam Silva.
II. Título.

UFPB/BC

Usando médias como ferramenta para minimizar perdas de energia elétrica

por

Glauco Sérgio Sales da Silva

Dissertação apresentada ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Matemática em Rede Nacional da Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Matemática.

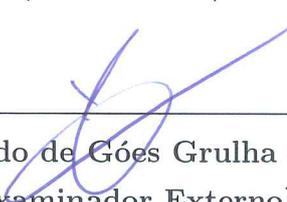
Área de Concentração: Matemática

Aprovada em 27 de Agosto de 2019.

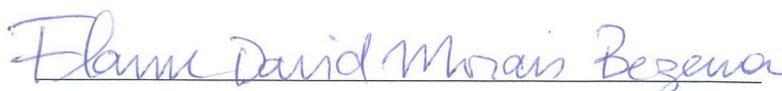
Banca Examinadora:



Prof. Dr^a. Miriam da Silva Pereira – UFPB
(Orientadora)



Prof. Dr. Nivaldo de Góes Grulha Júnior – USP
(Examinador Externo)



Prof. Dr. Flank David Morais Bezerra – UFPB
(Examinador Interno)

*À minha adorável esposa
Zuleide Santos Sales, pelo
amor, carinho, apoio, com-
preensão, e por tudo o que
ela significa para mim.*

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me dar forças e perseverância durante toda a jornada.

Agradeço a Professora Doutora Miriam da Silva Pereira, minha orientadora, por todo seu empenho, suporte e dedicação, com valiosas contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Especial agradecimento aos meus gestores Manoel Messias e Luciano Dantas, da Energisa Paraíba, pelo apoio irrestrito de primeira hora.

Ao amigo Mailson Alves, que muito ajudou, contribuindo com esclarecimento de dúvidas em relação a utilização do LaTeX.

A todos os amigos da turma Profmat 2017, pelas importantes contribuições e amizade durante essa etapa importante.

Um agradecimento especial aos meus queridos pais, Benjamim e Rosália, à minha esposa Zuleide e meus filhos Isaac e Israel, pelo carinho e incentivo em todas as etapas da minha vida.

Resumo

Neste trabalho, baseado em conceitos de estatística básica apresentamos estratégias para minimizar as perdas de energia elétrica, usando exemplos extraídos da base cadastral do grupo Energisa do Estado da Paraíba. Discutimos os resultados obtidos quando mudamos as médias empregadas na identificação das unidades consumidoras que praticam o ato ilícito do desvio da energia elétrica.

Palavras-chave: Perdas comerciais; Médias; Degrau de consumo; Recuperação de energia.

Abstract

In this paper, based on basic statistics concepts, we present strategies to minimize electric energy losses, using examples extracted from the Energisa group of the State of Paraíba. We discuss the results obtained when we changed the averages used in the identification of consumer units that practice the illicit act of diversion of electricity.

Keywords: Commercial Losses; Average; Consumption degree; Energy recovery.

Sumário

1	Breve Histórico da Energia Elétrica e o Grupo Energisa	4
1.1	A energia elétrica e as matrizes energéticas	4
1.2	O Grupo Energisa e a ANEEL	12
1.3	As Perdas de Energia	14
1.4	<i>O Data Warehouse</i>	30
2	Medidas de Tendência Central e Dispersão	33
2.1	Medidas de Tendência Central	33
2.2	Relação entre Média, Moda e Mediana	40
2.3	Medidas de Dispersão ou Variabilidade	42
2.4	Desigualdade das médias	45
3	Aplicação das Medidas de Tendência Central na regra degrau de consumo	48
3.1	Resultados do aprimoramento da regra degrau de consumo	51
A	Resultados Básicos	59
	Referências Bibliográficas	60

Lista de Figuras

1.1	Tales de Mileto (640 a.C.- 550 a.C.)	5
1.2	Máquina geradora de cargas elétricas	5
1.3	Joseph John Thomson (1856-1940)	6
1.4	Fontes de energias renováveis e não renováveis	8
1.5	Matriz Elétrica Brasileira	9
1.6	Maior Parque Eólico do Brasil	10
1.7	Usina solar de Nova Olinda	11
1.8	Matriz Elétrica Mundial	11
1.9	Usina Maurício	12
1.10	Áreas de Atuação	13
1.11	Sistema Elétrico de Potência	15
1.12	Fórmula do Consumo em kWh	16
1.13	Padrão de fornecimento de energia	17
1.14	Desvio de energia nos bornes do medidor	17
1.15	Fraude com Neutro Isolado	18
1.16	Ligação Direta	18
1.17	Ligação invertida	19
1.18	Ligação Clandestina	20
1.19	Iluminação pública acesa durante o dia	21
1.20	Medidor Danificado.	22
1.21	Visor Apagado.	22
1.22	Estimativa da Energia Recuperada	25
1.23	Percentual de Perda do Sistema Global em 2017	29
1.24	Ferramenta de Gestão de Perdas	31
1.25	Perda de Energia no Estado da Paraíba	32
2.1	Altura dos jogadores	34
2.2	Quantidade de gols dos artilheiros das Copas do Mundo	38
2.3	Comparação das posições das medidas de tendência central em diferentes distribuições	41

3.1	Comportamento do histórico de consumo	49
3.2	Comportamento do histórico de consumo	51
3.3	Histórico de Consumo do Cliente A	52
3.4	Recuperação de Consumo do Cliente A	53
3.5	Histórico de Consumo do Cliente B	54
3.6	Recuperação de Consumo do Cliente B	54
3.7	Quantidade de Inspeções e Irregularidadesl	55
3.8	Efetividade	55
3.9	Direcionamento para Inspeção no Estado da Paraíba	56
3.10	Direcionamento para Inspeção em Soledade/PB	56
3.11	Indicações sem sucesso	58

Lista de Tabelas

1.1	Quadro comparativo do uso das fontes no Brasil e no mundo	8
1.2	Efetividade das regras	29
2.1	Histórico de consumo mensal	34
2.2	Histórico de consumo mensal com erro na coleta	35
2.3	Tabela de pontuação	36
2.4	Cotação do ovo extra branco no atacado	38
2.5	Notas em Matemática	39
2.6	Processos analisados	41
2.7	Histórico de consumo semestral	43
3.1	Resultados das metodologias	57

Introdução

Com os avanços tecnológicos cada vez mais a sociedade depende da eletricidade e, percebemos o quanto isso é verdade, quando ocorre uma rápida interrupção no fornecimento de energia, podemos notar que o trânsito fica caótico, elevadores ficam sem funcionar, algumas indústrias ficam prejudicadas com a produção parada, entre outros casos.

O matemático e filósofo Tales de Mileto, não imaginava há séculos, como seu experimento iria influenciar na rotina da sociedade nos dias atuais. Ao esfregar um âmbar a pele de um carneiro, Tales percebeu que objetos eram atraídos. Mais tarde, Otton Von Gueriker iniciou estudos sistemáticos inventando uma máquina geradora de carga elétrica.

Outros grandes estudiosos contribuíram para o desenvolvimento nesse campo da eletricidade, até o surgimento das fontes de energia que proporciona grandes benefícios, como por exemplo a iluminação de ruas e avenidas, porém para disponibilizar de todos esses benefícios que a energia elétrica nos proporcionam, é necessário possuir um contrato com a concessionária de energia, onde o pagamento do consumo de sua utilização é feita mensalmente. Alguns desses consumidores buscam alternativas de forma ilícita para reduzir seu consumo, através de furtos de energia, conhecido popularmente por ‘gato de energia’, provocando para as empresas de energia elétrica grandes prejuízos, afetando a receita, sendo que essa parcela não contábil são chamadas de perdas não-técnicas ou perdas comerciais.

Para combater as perdas comerciais, as concessionárias de energia elaboram estudos para identificação de comportamento de histórico de consumo suspeito, e chamamos essas análises de regras. Normalmente as regras mais usuais são Suspeita de Fraude, sendo apontadas pelo leiturista na coleta da leitura; Denúncias realizadas pela sociedade através dos canais de comunicação da Empresa; Degrau de consumo, onde é observado o histórico de consumo da unidade consumidora, onde é observado uma queda brusca em relação a sua média de consumo, entre outras regras.

Este trabalho tem como objetivo aperfeiçoar a regra Degrau de consumo, utilizando os conhecimentos matemáticos, especificamente, as Medidas de Tendência Central,

melhorando a assertividade das indicações e, conseqüentemente, recuperar à receita, reduzindo a perda comercial.

Aferimos os resultados da nova metodologia do cálculo referente ao degrau de consumo, no Grupo Energisa, sendo oferecido toda a estrutura e suporte técnico para realização das visitas nas unidades consumidoras com indícios de fraude. Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

No Capítulo 1, estudamos uma breve abordagem da origem das cargas elétricas até os dias atuais mostrando as matrizes energéticas; a classificação de fontes de energia em renováveis e não renováveis. Em seguida, temos uma rápida introdução de como surgiu um dos maiores conglomerados do setor elétrico do país, o Grupo Energisa, abordando a sua missão e desafios. Ainda neste Capítulo, falamos do conceito de Perda, sua divisão, passando sobre alguns artigos referente a essa abordagem que encontram no Código Penal Brasileiro, como também a Resolução Normativa 414/2010.

No Capítulo 2 apresentamos a definição e conceitos utilizados em Medidas de Tendência Central e Dispersão, bem como exemplos que utilizam tais medidas, como forma de destacar a sua importância para o aperfeiçoamento da regra de degrau de consumo que será posteriormente discutida.

No Capítulo 3, apresentamos uma comparação da regra degrau de consumo com as metodologias empregadas utilizando média aritmética e mediana. Concluímos mostrando que este trabalho pode contribuir para ampliação dos processos de recuperação de receitas das empresas de energia, evitando, dessa forma, onerar os consumidores regulares e minimizar as perdas de energia elétrica aplicando os conceitos estudados no Capítulo 2.

Capítulo 1

Breve Histórico da Energia Elétrica e o Grupo Energisa

Neste Capítulo apresentamos algumas informações interessantes sobre energia elétrica e as matrizes energéticas. Além disso, abordamos alguns aspectos sobre o consumo de energia e apresentamos o Grupo Energisa que é uma das Empresas responsáveis pelo abastecimento de energia em nosso país. As principais referências usadas neste Capítulo foram: [1], [9], [12], [14] e [17].

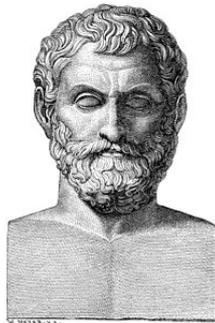
1.1 A energia elétrica e as matrizes energéticas

Atualmente estamos vivenciando um estilo de vida onde os avanços tecnológicos estão cada vez mais presentes e, conseqüentemente, dependentes do uso da eletricidade, deixando a vida mais prática, proporcionando conforto e sofisticação. Contudo, todos esses benefícios do mundo moderno tem um custo muito alto.

Grande parte dos equipamentos eletroeletrônicos para funcionar necessitam de um fornecimento contínuo de energia elétrica, que é um bem de consumo, cujo o custo é calculado no montante consumido, ou seja, quanto mais se consome, mais se gasta. Devido a isso, alguns consumidores, partem para caminhos ilícitos para obter vantagem indevida na fatura de energia. Porém antes de nos aprofudarmos nessa problemática, apresentamos um breve histórico do surgimento da energia elétrica.

A origem da energia elétrica foi através de um filósofo, matemático e astrônomo grego, Tales de Mileto (Figura 1.1) que, ao esfregar um âmbar, que em grego significa *elektron*, a um pedaço de pele de carneiro, notou certa alteração. Com esse experimento, o filósofo observou que pedaços de palhas e de madeira começaram a ser atraídas pelo âmbar.

Figura 1.1: Tales de Mileto (640 a.C.- 550 a.C.)



Fonte: guiaEstudo.¹ .

Após alguns séculos, estudos sistemáticos foram desenvolvidos impulsionados pelo fenômeno observado por Tales, culminando com a criação de uma máquina geradora de cargas elétricas. O responsável por esta máquina foi Otto Von Guericke que idealizou um mecanismo, onde uma esfera de enxofre girava constantemente atritando em terra seca, conforme ilustramos na Figura 1.2.

Figura 1.2: Máquina geradora de cargas elétricas



Fonte: Projeto Somos Físicos.² .

Uma das mais importantes invenções no sentido de corpos atritados e de uso prático, foi desenvolvida por Benjamin Franklin, o pára-raios. Benjamin, afirmou que a eletrização de dois corpos atritados era a falta de um dos dois tipos de eletricidade, uma semelhante ao vidro, chamada de eletricidade vítrea e a outra, semelhante ao plástico, chamada de eletricidade resinosa.

Outros estudos relacionados a geração de cargas elétricas foram realizados, com o intuito de descobrir outras formas de eletricidade, a exemplo disso o estudo de pilhas, que é um experimento em uma série de discos de cobre e zinco alterados, separados por pedaços de papelão embebidos por água salgada. Com essa invenção, pela primeira vez, foi obtida uma fonte de corrente elétrica estável e, com isso, as investigações sobre a corrente elétrica aumentaram cada vez mais.

Mais tarde, o físico Michael Faraday, em seus estudos, fez uma descoberta de que a indução de uma corrente em uma bobina, faz com que aconteça uma variação na

intensidade da corrente elétrica que percorre um circuito fechado, que é a transmissão da energia através de fio condutor. Ao introduzir um ímã nessa bobina, ele observou a existência de uma corrente, o que provocou uma indução magnética imediata gerando a aplicação de correntes elétricas.

Apesar das descobertas na área terem iniciado na Grécia Antiga, o grande marco dos estudos se deu com a descoberta do elétron, que é uma partícula que constitui o átomo e que tem carga negativa, feita no século XIX por Joseph John Thomson (Figura 1.3), físico britânico, reconhecido pela descoberta e identificação do elétron ao realizar a experiência com os raios catódicos.

Figura 1.3: Joseph John Thomson (1856-1940)



Fonte: Pinterest.³ .

A experiência realizada por Thomson, verificou que os elétrons, além de serem desviados por um ímã, também eram desviados por um campo elétrico que na Física é definida sendo o campo de força provocado pela ação de cargas elétricas, ou por sistemas delas, confirmando assim que, os raios catódicos eram correntes de partículas dotadas de carga elétrica.

Diante de tantos experimentos voltados para a descoberta da energia, as contribuições deixadas por cada um dos estudiosos da área, fez com que importantes avanços acontecessem para que a eletricidade contribuísse com a evolução da humanidade, que passou a realizar feitos incríveis, como a lâmpada elétrica, que permitiu a realização de atividades noturnas, trazendo um grande benefício para a sociedade.

Podemos destacar as principais fontes de energias renováveis que provêm de recursos inesgotáveis ou que podem ser repostas a curto ou médio prazo, espontaneamente ou por intervenção humana, que são os casos da energia hidráulica, solar, eólica, utilizadas no mundo:

- Energia hidráulica: É uma fonte de energia gerada a partir da movimentação de turbinas impulsionadas por água de rios acumulados em barragens.
- Energia eólica: É um tipo de energia que não ocorre a emissão de poluentes, além

de não deixar de existir na natureza. É considerada a fonte de energia mais limpa do planeta. Pode ser obtida em locais diversificados da Terra, desde que sejam implantadas as instalações adequadas.

- Energia solar: É uma forma de energia sustentável e, que é criada a partir de luz solar, ou calor do sol, que pode ser captada com painéis solares, também conhecidos como painéis fotovoltaicos.
- Biogás: É uma energia obtida a partir da biomassa contida em dejetos (urbanos, industriais e agropecuários) e em esgotos, que passa naturalmente do estado sólido para o gasoso por meio da ação de microorganismos que decompõem a matéria orgânica em um ambiente anaeróbico, que é um organismo que vive e se desenvolve exclusivamente em um meio em que há ausência completa ou quase completa de oxigênio molecular.

Atualmente, a grande preocupação é obter novas fontes de energia que sejam menos agressivas e mais eficientes, tendo em vista que, com o aumento da população é necessário investimentos nessa área, pensando em melhorar o fornecimento do tipo de energia mais utilizada no mundo, que é a energia elétrica, tentando sanar alguns danos que são provocados, com o seu uso excessivo, ao meio ambiente.

Existem outras fontes de energia que são chamadas de não-renováveis e correspondem a todo recurso natural que não tem capacidade de se renovar ou refazer, ou seja, que podem acabar, pois os recursos são finitos, e sua utilização agride o meio ambiente. Podemos citar:

- Petróleo: É a energia que mistura hidrocarbonetos (moléculas que contêm apenas carbono (C) e hidrogênio (H) em sua composição), de origem fóssil, não-renovável, tendo em vista que, os recursos na natureza são finitos.
- Carvão mineral: É uma fonte de energia não-renovável e, assim como o petróleo, é um combustível fóssil, formado a partir de milhares de anos de natureza morta, restos de animais e gases.
- Energia nuclear ou atômica: É a energia produzida nas usinas term nucleares, que utilizam o urânio e outros elementos, como combustível. O princípio de funcionamento de uma usina nuclear é a utilização do calor para gerar eletricidade. O urânio é um recurso mineral não-renovável encontrado na natureza, que também é utilizado na produção de material radioativo para uso na medicina. Além do uso para fins pacíficos, o urânio pode também ser utilizado na produção de armamentos, como a bomba atômica.

É importante salientar que, mesmo diante da preocupação com o meio ambiente e da criação de fontes de energia renovável, é fundamental citar outras fontes de energia que são utilizadas como forma de abastecimento em alguns locais que não possuem estruturas naturais e financeiras para utilizarem as energias renováveis.

O conjunto de fontes renováveis e não-renováveis é denominada de Matriz Energética.

Figura 1.4: Fontes de energias renováveis e não renováveis



Fonte: Mundo Educacao⁴

Como vimos, a Figura 1.4, está destacada os cataventos, placas fotovoltaicas, barragens e usinas, que representam, respectivamente, a energia eólica, solar, hídrica, nuclear e termelétrica. É importante ressaltar que, o consumo de fontes de energia não renováveis é maior que o de fontes renováveis, como podemos observar na Tabela abaixo, em que destacamos uma comparação entre as fontes renováveis e não renováveis utilizadas no Brasil e nas nações industrializadas.

Tabela 1.1: Quadro comparativo do uso das fontes no Brasil e no mundo

Uso de Fonte Renováveis	Uso de Fonte Não Renováveis
Mundo - 14,1%	Mundo - 85,9%
Brasil - 43,5%	Brasil - 56,5%

Fonte: Alunos online⁵ (2019, p.1).

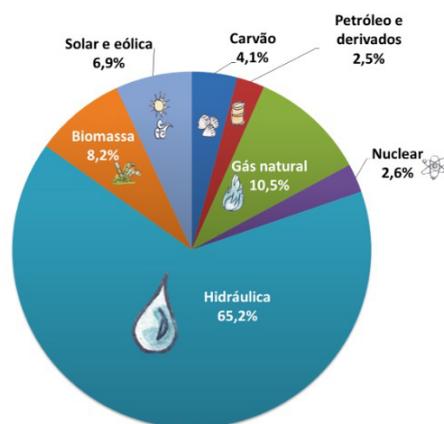
Dessa forma é possível perceber na Tabela 1.1 que, no Brasil, apesar das fontes não-renováveis ultrapassar pouco mais de 55%, o país ainda se destaca de forma mais favorável em recursos renováveis, quando comparado com outras nações industrializadas, já que este supera o outro em quase o triplo de utilização desses recursos.

Um dos recursos mais utilizados como forma de obtenção de energia são as usinas hidrelétricas. No final do século XIX foi construída junto às quedas d'água das Cataratas do Niágara, na América do Norte, a primeira hidrelétrica. No mesmo período, o Brasil construiu sua primeira hidrelétrica, no município de Diamantina em Minas Gerais, utilizando as águas do Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha.

1. Breve Histórico da Energia Elétrica e o Grupo Energisa

Atualmente, em nosso país, há diversas usinas hidrelétricas, e as que geram mais energia são, em ordem decrescente de capacidade: Usina Hidrelétrica de Itaipu no Estado do Paraná, Usina Hidrelétrica de Belo Monte no Estado do Pará, Usina Hidrelétrica de Santo Antônio no Estado do Rondônia, Usina Hidrelétrica São Luiz do Tapajós e Usina Hidrelétrica de Tucuruí, ambas no Estado do Pará. As usinas hidrelétricas são responsáveis por um pouco mais de 65% da energia elétrica produzida no Brasil (Figura 1.5).

Figura 1.5: Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética⁶ (2019, p. 1)

Com relação ao uso de recursos através das barragens que geram energia hídrica, devemos citar que a maior usina hidrelétrica está localizada na China, chamada de Três Gargantas, tendo como funções a prevenção de enchentes, a geração de energia e facilitação do transporte fluvial.

Apesar de ser um recurso energético renovável, a energia hidráulica apresenta algumas desvantagens, pois o uso dessa fonte energética causa grandes impactos socioambientais, tendo em vista que, a instalação de usinas hidrelétricas modifica o meio ambiente, altera o ciclo biológico dos rios, bem como a vida das famílias que moram próximas às áreas de instalação. Além disso, há alteração dos solos e impactos na biodiversidade aquática dos rios que são utilizados para geração de energia.

Devido a falta de planejamento e investimento por parte do governo federal em geração de energia, o Brasil a partir de 2001 vem enfrentando uma complicada crise energética. Várias indústrias, comércios e várias demandas sociais sentiram os prejuízos provocados por essa crise. Desde então, o país enfrenta necessidade de repensar e diversificar investimentos para geração fontes energéticas alternativas, objetivando aliviar os problemas adquiridos com a falta de energia, buscando soluções que gerassem estabilidade no setor elétrico e ao mesmo tempo trouxessem menos impactos ao meio ambiente.

Em 2002, o governo brasileiro criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), cujo objetivo era ampliar as matrizes que geram menos impactos ambientais, dentre elas a eólica, a solar, a geotérmica e outras. A expansão da energia eólica no Brasil ocorreu graças a parcerias entre o poder público e a iniciativa privada por intermédio da realização de leilões e concessões públicas para empresas interessadas.

Embora a produção de energia a partir dos ventos ainda seja pouco representativa no território brasileiro, é perceptível a evolução do setor no país ao longo dos últimos anos. Em 2014, segundo dados do Ministério de Minas e Energia, o Brasil ultrapassou a Alemanha no que se refere à expansão da energia eólica, atingindo o segundo lugar mundial, atrás apenas da China, que é o país que mais investe em fontes energéticas no mundo em razão de sua alta demanda.

No que tange à produção de energia eólica em comparação aos países da América Latina e ao Caribe, o Brasil é o que possui maior capacidade de produção de energia por meio dos ventos. Localizada no Nordeste brasileiro, o Parque eólico Ventos do Araripe III (Figura 1.6), é o maior parque eólico do Brasil e um dos maiores complexos eólicos da América Latina.

Figura 1.6: Maior Parque Eólico do Brasil



Fonte: Diário do Nordeste⁷ (2019, p. 1).

Analisando outra matriz de produção de recursos energéticos no país, a produção e utilização da energia solar vem aumentando consideravelmente a passos largos. Existem diversos benefícios econômicos e ambientais que estão ajudando a impulsionar o crescimento desta fonte de energia renovável. Uma usina solar de $100MW_p$ (Watt-pico é uma medida de potência energética) que gera energia para 20.000 casas e evita a emissão de 175.000 toneladas por ano de dióxido de carbono ou gás carbônico (CO_2). O (CO_2) é formado por dois átomos de oxigênio e um átomo de carbono, encontrado naturalmente na atmosfera, produzido pela respiração dos animais e pela queima de qualquer matéria orgânica, sendo uns dos principais responsáveis pelo efeito estufa.

Por apresentar um grande potencial de uso de fontes renováveis, o Brasil emite

menos gases de efeito estufa por habitante do que a maioria das nações no mundo. De acordo com o Ministério de Minas e Energia do Brasil, o país ainda enfrenta obstáculos de ordem econômica e operacional para a expansão do uso de fontes renováveis, mesmo assim, o país detém a maior fazenda de energia solar da América Latina (Figura 1.7) localizada no Piauí.

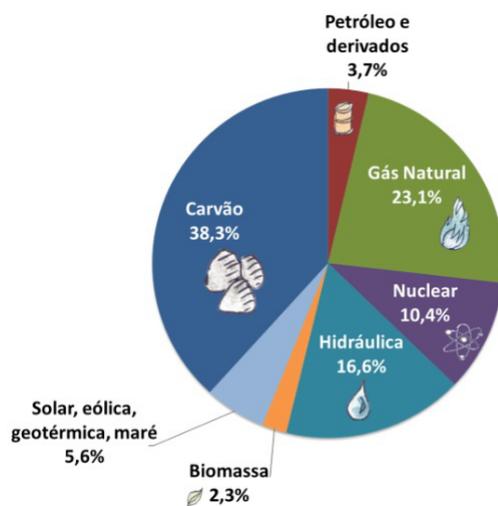
Figura 1.7: Usina solar de Nova Olinda



Fonte: Conexão Planeta ⁸ (2019, p. 1)

Em relação ao cenário mundial, a matriz energética é composta, principalmente, por fontes que não se renovam, representando cerca de 86% de toda sua produção energética. O carvão aparece como uma das fontes mais utilizadas, tendo uma participação maior quando comparado, por exemplo, com o petróleo ou o gás natural, mesmo esses, sendo utilizados em grande parte no setor de transportes, conforme podemos observar na Figura 1.8.

Figura 1.8: Matriz Elétrica Mundial



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética⁹

Como podemos observar, há um intenso uso de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão mineral e gás natural, o que desencadeia o aumento de emissão de gases poluentes à atmosfera, decorrentes da queima desses combustíveis para produção de energia o

que tem provocado diversos problemas ao meio ambiente, como o efeito estufa, além de mudanças nas condições climáticas do planeta, como o aquecimento global.

1.2 O Grupo Energisa e a ANEEL

A história do Grupo Energisa começa na extinta companhia Força e Luz Cataguazes-Leopoldina, fundada pelos empreendedores José Monteiro Ribeiro Junqueira, Norberto Custódio Ferreira e João Duarte Ferreira em 26 de fevereiro de 1905. Anos depois, a empresa inaugura sua primeira hidrelétrica, a Usina Maurício (Figura 1.9), sendo uma das geradoras pioneiras do país.

Figura 1.9: Usina Maurício



Fonte: Grupo Energisa ¹⁰ (2019, p. 1)

O Grupo Energisa, um dos principais conglomerados privados do setor elétrico do país, vem há 114 anos, oferecendo soluções integradas para o mercado de energia elétrica no Brasil em geração, transmissão, distribuição, soluções e comercialização.

A Energisa Comercializadora é a empresa do Grupo Energisa que atua, desde 2005, na venda de energia elétrica e serviços no mercado livre, que é o ambiente que possibilita ao consumidor escolher seu fornecedor de energia visando o melhor pacote de serviços em relação a preço, volume, prazo e condições de pagamento. Com mais de 10 anos de experiência, a empresa é especializada em propor soluções integradas que vão desde a análise de viabilidade, identificando as oportunidades de ganhos na migração para o mercado livre.

A Energisa Distribuidora se caracteriza como o segmento do setor elétrico dedicado à entrega de energia elétrica para um usuário final, no qual chamamos de consumidor que é a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, legalmente representada, que solicite o fornecimento, a contratação de energia ou o uso do sistema elétrico à distribuidora, assumindo as obrigações decorrentes deste atendimento à(s) sua(s) unidade(s) consumidora(s). Atualmente, a Energisa contém 11 distribuidoras ou con-

1. Breve Histórico da Energia Elétrica e o Grupo Energisa

cessionárias de energia no Brasil, que é o agente titular de serviço público federal delegado pelo poder concedente mediante licitação, através de uma concorrência.

Com aproximadamente 7,7 milhões de consumidores, o Grupo Energisa é o quinto maior distribuidor de energia do país, atendendo nesse segmento de atuação aos estados brasileiros de Minas Gerais, Sergipe, Paraíba, Rio de Janeiro, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, São Paulo, Paraná, Acre e Rondônia, com uma área de concessão que atinge 2.034 mil Km^2 , equivalentes a 24% do território nacional (Fonte: IBGE, julho de 2016).

Uma das principais missões do Grupo Energisa é transformar energia em conforto, em desenvolvimento e em novas possibilidades com sustentabilidade, oferecendo soluções energéticas inovadoras aos clientes, agregando valor aos acionistas e oportunidade aos seus colaboradores. Sua visão é de ser uma das melhores e mais respeitadas empresas de energia elétrica no Brasil até 2020. O mapa do território brasileiro, com os Estados em destaque da cor alaranjada (Figura 1.10), indica a área de atuação do Grupo.

Figura 1.10: Áreas de Atuação



Fonte: Resultados do 3º trimestre de 2018 ¹¹

Diante da demanda social e da utilização necessária da energia elétrica, para evolução de bens e consumo, o Grupo Energisa tem ampliado a sua participação no cenário nacional, proporcionando qualidade do fornecimento de energia, intensificando as manutenções preventivas e fiscalização a procedimentos ilícitos na rede de distribuição.

O Grupo Energisa e demais concessionárias do Brasil são regulamentadas através da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que é uma autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, por meio da Lei nº 9.427/1996 e

do Decreto nº 2.335/1997, iniciando suas atividades no ano de 1997, a autarquia tem como atribuições:

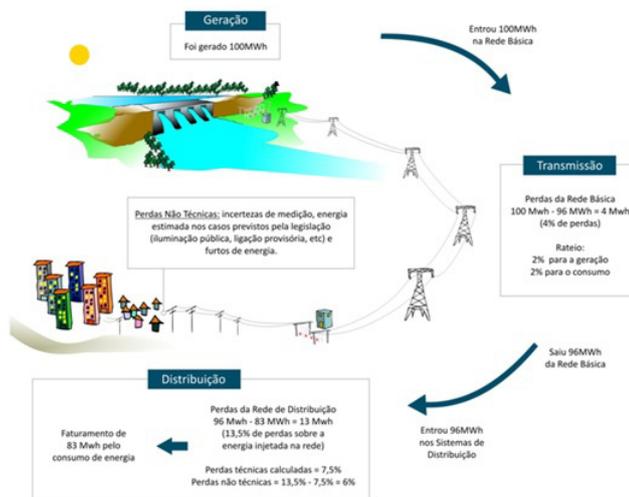
- Regular a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica;
- Fiscalizar, diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica;
- Implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos e;
- Estabelecer tarifas;
- Dirimir as divergências, na esfera administrativa, entre os agentes e entre esses agentes e os consumidores, e Promover as atividades de outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica, por delegação do Governo Federal.

1.3 As Perdas de Energia

Para todas concessionárias de energia, a perda de receita merece uma atenção especial. Como o objetivo do nosso trabalho é traçar estratégias para minimizar estas perdas, vamos apresentar alguns conceitos necessários para abordar este problema de forma detalhada.

O percurso da energia elétrica que para chegar ao consumidor final, depende dos geradores, de uma eficiente rede elétrica, composta por fios e torres de transmissão e distribuição, que chamamos de Sistema Elétrico de Potência (SEP). O SEP é dividido em três grandes blocos: O Gerador que é responsável de transformar a energia primária (água de reservatório, gás, vapor, energia dos ventos, energia solar) em energia elétrica, as linhas de transmissão com a função de transportar a energia gerada para rede de distribuição, e a entrega a energia aos consumidores, são por meio da rede de distribuição, conforme ilustra a Figura 1.11.

Figura 1.11: Sistema Elétrico de Potência



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética¹² (2019, p.1)

A energia entregue a cada consumidor é medida através de equipamentos chamados de medidores de energia, também conhecidos como “relógios”, cuja função é registrar o consumo de energia em determinado período de leitura. Este período pode variar de acordo com o planejamento de cada empresa e normalmente em média varia entre 28 a 32 dias.

O consumo mensal é o resultado da utilização de equipamentos eletro-eletrônicos como televisão, equipamento de som, secador, máquinas de lavar roupas, lâmpadas, entre outros, durante um período de tempo. Estes aparelhos transformam a energia elétrica em outra forma de energia, como por exemplo o chuveiro, que transforma a energia elétrica em energia térmica. Quanto mais energia for transformada em um menor intervalo de tempo, maior será a potência do aparelho.

A potência elétrica é uma grandeza que mede a rapidez com que a energia elétrica é transformada em outra forma de energia, tendo o *Watt(W)* a unidade de potência, adotado pelo Sistema Internacional de Medidas.

A utilização de aparelhos elétricos durante um período de tempo determina a energia elétrica consumida que é em Watt-hora (*Wh*), ou ainda seus múltiplos como o Quilowatt-hora (*KWh*) que equivale a $1000Wh$, o Megawatt-hora (*MWh*) que equivale a $1000KWh$ ou mesmo o Gigawatt-hora (*GWh*) que equivale a $1000MWh$.

Expressamos na Figura 1.12, como podemos determinar o consumo de energia de qualquer equipamento, durante um período de tempo.

Figura 1.12: Fórmula do Consumo em kWh

$$\frac{\text{Potência do Equipamento (w)} \times \text{Número de horas utilizadas (h)} \times \text{Número de dias de uso no mês}}{\text{dividido por 1000}}$$

Fonte: Indústria Hoje¹³ (2019, p.1)

Exemplo 1.1. Vamos determinar o consumo de energia mensal de um Forno de Micro-Ondas com potência 2.000Watts que foi utilizado diariamente durante 5 minutos. Considerando que a tarifa é de $0,57\text{R}\$/kWh$, qual o consumo mensal deste equipamento e quanto isso representa em reais?

O tempo de utilização deste equipamento no mês foi de 30 dias, que equivale a 2,5 horas de utilização por mês, logo o aparelho terá consumo de $5kWh$ no mês. Para determinar a energia elétrica correspondente em reais, durante esse período, multiplicamos o consumo pela tarifa e obtemos R\$ 2,85 (Dois reais e oitenta e cinco centavos).

Normalmente a energia medida pelas distribuidoras nas unidades consumidoras será sempre inferior à energia recebida dos agentes supridores. Esta diferença é denominada perda total de energia e é segregada conforme sua origem seja na rede básica ou de distribuição. As definições a seguir, são baseadas em informações contidas no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Vejamos, a seguir, as definições e os tipos de Perda:

A Perda Global ou Total de energia pode ser definida como a diferença entre a energia fornecida a uma determinada rede elétrica e a energia entregue regularmente nessa mesma rede. Esta perda pode ser dividida em perdas técnicas e perda não-técnica.

A perda técnica surge de forma natural nos sistemas elétricos, devido a ações internas nos materiais, inerentes aos processos de transporte de energia, e consistem principalmente na dissipação de energia nos diversos componentes dos sistemas elétricos, como condutores, transformadores, medidores e equipamentos. Essa dissipação é a transformação de energia elétrica em energia térmica, denominada de efeito joule que ocorre quando um condutor é aquecido ao ser percorrido por uma corrente elétrica, resultando na transformação de energia elétrica em energia térmica.

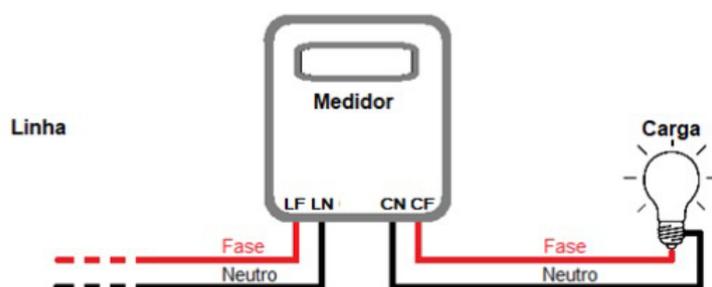
A perda não-técnica ou perda comercial corresponde à diferença entre perda total e a perda técnica. Ela equivale a todas as demais perdas associadas à distribuição de energia elétrica, ou seja, furtos de energia, erros de medição, erros no processo de faturamento, unidades consumidoras sem equipamentos de medição, entre outros.

Antes de abordar as irregularidades praticadas para desvio de energia elétrica, vamos apresentar a forma padrão de fornecimento de energia elétrica a um cliente.

Os aparelhos e dispositivos que consomem energia elétrica que encontramos em nossa residência, como televisão, rádio, lâmpadas, entre outros, são denominados carga e, a estrutura que leva a energia elétrica à unidade consumidora, chamamos de linha. Tanto os fios da linha como os da carga são composto por um fio que possui tensão elétrica chamado de fase e um fio neutro que não possui tensão.

A Figura 1.13 ilustra a instalação correta da medição em uma unidade consumidora, podemos observar que entre o ponto de entrega da energia, ou seja a linha e a carga, há o medidor de energia elétrica, responsável por medir o consumo de uma unidade consumidora.

Figura 1.13: Padrão de fornecimento de energia



Fonte: Acervo da Energisa Paraíba.(2019).

Um dos principais agentes responsáveis de gerar a perda comercial são as fraudes, que ocorrem por intervenções praticadas pelos consumidores na rede de distribuição ou mesmo alteração das características dos equipamentos de medição. Na Figura 1.14, temos um caso onde ocorreu essa intervenção para subtrair para si ganhos desleais. Neste caso houve a divisão da corrente elétrica na chegada dos fios da rede a unidade consumidora que são os pontos de conexão do medidor, que tecnicamente chamamos de bornes do medidor e, dessa forma não é registrado o consumo de forma adequada.

Figura 1.14: Desvio de energia nos bornes do medidor



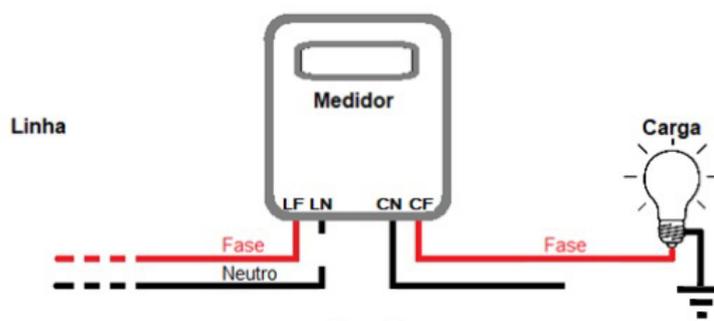
Fonte: Acervo da Energisa Paraíba.(2019).

O furto é quando uma unidade consumidora se liga diretamente a rede da distribuidora, sem anuência da concessionária. Tanto a fraude como o furto são crimes e estes

tipos de procedimentos causam enormes prejuízos financeiros para as concessionárias, para União e, até mesmo para a população, pois sobrecargam os transformadores, acarreta na interrupção no fornecimento de energia, oscilações de tensão, danifica equipamentos e reajustes nas tarifas de energia.

Alguns fraudadores praticam o furto de energia apenas seccionando o fio neutro e, desta forma, os fabricantes de medidores garantem que o consumo deixa de ser registrado no medidor. Na Figura 1.15 temos um ilustração como isso ocorre.

Figura 1.15: Fraude com Neutro Isolado

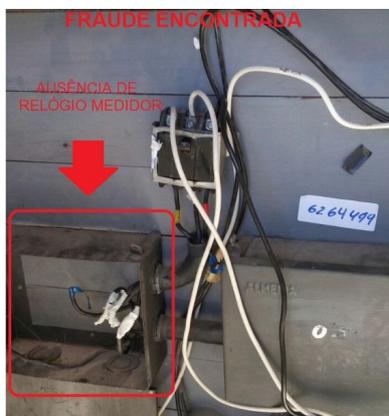


Fonte: Acervo da Energisa Paraíba.(2019).

Verifique que na ilustração acima, no lado da carga o neutro passou a ser substituído por um fio terra, que é um fio ligado a haste (barra de cobre) cravadas na terra.

Outra perda mais onerosa para concessionária são as ligações diretas, pois os fios que chegam da rede de distribuição não passam pelo medidor e o fornecimento ocorre de forma direta para instalação da unidade consumidora, nesse caso a energia consumida não é registrada, fazendo com que as concessionárias tenham perda de 100% para estes casos.

Figura 1.16: Ligação Direta



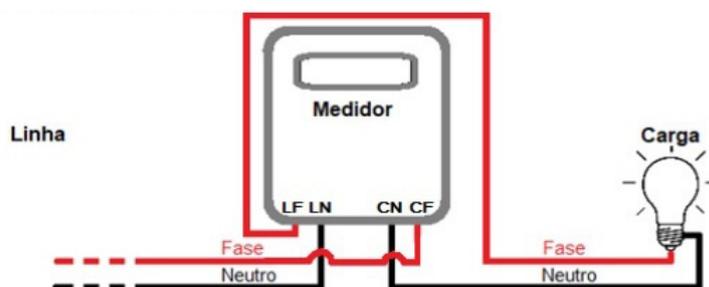
Fonte: Radio Pampa.¹⁴(2019).

Existe ocasiões que até o equipamento de medição é retirado do quadro de energia,

como mostra a Figura 1.16.

Existe fraudes onde o consumidor manipula o consumo de energia, através da divisão da corrente e ao aproximar a data da leitura essa irregularidade é removida. Este tipo de fraude é de difícil detecção por parte da concessionária, pois não é encontrada evidências para comprovar o ato ilícito. Outra forma de manipulação são as ligações invertidas, conforme ilustra a Figura 1.17, onde a fase carga é conectada no lado linha do medidor e, a fase linha, por sua vez, no lado carga. Deste modo, há perdas no registro da energia consumida e, em alguns tipos de medidores, também ocorre o registro reverso, ou seja, dar uma idéia que o cliente está fornecendo energia e não consumindo energia elétrica.

Figura 1.17: Ligação invertida



Fonte: Acervo da Energisa Paraíba.(2019).

Existem fraudes mais elaboradas e sofisticadas, como por exemplo, a fraude de controle remoto exibida no Programa Fantástico no dia 24/junho/2018 na Rede Globo. Neste caso, a manipulação do consumo de energia elétrica era feita através do acionamento de um controle remoto, fazendo com que o medidor desabilite sua função de registrar a energia consumida, sendo normalizado quando da presença de equipes de inspeção da concessionária, ou mesmo na coleta de leitura pelo auxiliar comercial.

Outra forma de perdas estão nas ligações clandestinas, que são consumidores não pertencentes ao banco cadastral da concessionária, ou seja, não existe nenhum contrato entre o agente e a concessionária, essa prática pode causar incêndios em residências e instalações, além disso, sobrecarrega os transformadores, provocando oscilações de energia, danificando equipamentos e podendo causar acidentes fatais. Na Figura 1.18, podemos observar a falta de padronização e mal dimensionamento de fios, podendo ocasionar curto-circuito e acidentes.

Figura 1.18: Ligação Clandestina



Fonte: Flickr.¹⁵(2019, p.1).

Um dos fatores para que esse tipo de irregularidade ocorra é atribuído ao crescimento desordenado das cidades, especialmente em áreas cuja ocupação vem se dando de forma irregular, juntamente com a falta de recursos das distribuidoras de energia para investimentos, aliados à falta de ação do poder público.

Os consumidores autorreligados são clientes que por inadimplência teve seu fornecimento de energia suspenso, e por revelia, religou sua unidade na rede elétrica sem autorização da concessionária.

Os erros nos processos de leitura, faturamento e cadastro são falhas ocorridas no cadastramento e implantação do consumidor na rota, que definimos como sendo a seqüência em que o leiturista percorre para realizar as leituras, e essas falhas podem acarretar perdas de difícil identificação. Rotas de leitura bem organizadas e leituristas capacitados aumentam a produtividade, facilitam a identificação de erros de cadastramento e agilizam a fiscalização em consumidores que se autorreligam, permitindo atuação imediata sobre eles.

Quanto ao processo de leitura, para o combate às perdas tem sido a maior fonte de informações sobre os clientes, que já são normalmente visitados mensalmente pelos leituristas. A capacitação destes, associada a uma forma adequada de sinalização de anormalidades encontradas em campo permite uma atuação corretiva imediata, reduzindo perdas e desgastes com os clientes.

Os erros de faturamento da iluminação pública é outro item que contribui com a perda. Para entender melhor esse processo, vejamos o que diz a Norma Regulatória 414 no Art. 24 (Da Iluminação Pública):

Para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública ou à iluminação de vias internas de condomínios, o tempo a ser considerado para consumo diário deve ser de 11 (onze) horas e 52 (cinquenta e dois) minutos, ressalvado o caso de logradouros que necessitem de iluminação permanente, em que o tempo é de 24 (vinte e quatro) horas por dia do período de fornecimento.

Daí, o consumo fornecido para iluminação pública, para os casos que não existe medição, é calculado com base em cadastro de pontos de iluminação, com respectivas potências de lâmpadas e equipamentos auxiliares, multiplicado por 360 horas/mês. Esta forma de faturamento requer que o cadastro seja mantido atualizado, exigindo vigilância constante sobre as alterações procedidas pelas prefeituras municipais, bem como quando da energização de obras que alterem a situação anterior da iluminação pública. Apesar de constar nos contratos de fornecimento firmados com as prefeituras, estas normalmente não informam às concessionárias quando da realização de ampliações de números de pontos ou potência das lâmpadas, intervindo inclusive diretamente na sua rede de distribuição. Como consequência, o cadastro existente sofre constante desatualização, requerendo recadastramentos periódicos e provocando perdas na comercialização da energia. Além disso, defeitos em relés fotoelétricos que são sensores, no qual ao detectar luminosidade, este emite comando de desligamento do circuito de iluminação. Quando este sensor apresenta problema causa perda comercial, pois as lâmpadas acesas 24 horas causam inconformidades entre a energia faturada e a energia efetivamente consumida, conforme ilustra a Figura 1.19.

Figura 1.19: Iluminação pública acesa durante o dia



Fonte: Blogdoanderson.¹⁶(2019, p.1).

A instalação de medidores em circuitos de iluminação pública pode sinalizar um caminho para reversão do processo extremamente arcaico, burocrático e dispendioso que é o de cadastro.

Problemas como medidor danificados e o visor do medidor eletrônico apagado, também tem contribuído com o aumento das perdas, para estes casos as concessionárias tem um prazo de 90 dias para realizar a substituição do equipamento, nas Figuras 1.20 e 1.21 , temos essa situação, que pode ter sido gerada por terceiros ou mesmo uma falha de fabricação.

Esses casos citados de perda de energia tem, nos últimos anos, chamando a atenção e preocupado as concessionárias e de certa forma, eles atingem toda a sociedades, pois

Figura 1.20: Medidor Danificado.



Figura 1.21: Visor Apagado.



Fonte: Acervo Energisa Paraíba

ela acaba pagando mais caro pela energia fornecida. Levantamento da ANEEL aponta que o Brasil perdeu em um período de um ano (entre maio de 2017 e abril de 2018) 31.533 gigawatts-hora (*GWh*) de energia, que representa algo em torno de R\$ 4,5 bilhões com furtos, desvios ou fraudes, esse valor seria suficiente para abastecer um estado como Santa Catarina pelo mesmo período.

Na Paraíba, de acordo com a Energisa, o furto de energia em 2017 representou uma perda de 128,5 *GWh* de energia, quantidade suficiente para abastecer, por 11 meses, o município de Patos, localizado no Sertão da Paraíba. Nesse mesmo ano a Empresa imprimiu um ritmo forte para combater a prática ilegal, sendo flagrado 12,6 mil unidades consumidoras cometendo a fraude em todo estado.

Uma das matérias das ações de combate as perdas em conjunto com a Polícia Cível do Estado da Paraíba foi veiculada no G1 Paraíba no dia 14/05/2019, pelo jornalista Artur Lima, intitulada conforme segue:

Operação prende 11 pessoas em flagrante por furto de energia elétrica, no Sertão da PB[14], vejamos a reportagem:

Nessa operação, 11 pessoas foram presas em flagrante por furto de energia elétrica no Sertão paraibano.

A operação foi realizada nas cidades de Catolé do Rocha, São Bento e Paulista. A perda de energia nos três municípios soma 14,5 MWh, o que equivale a uma perda de faturamento de R\$ 7 milhões por ano. Esta energia seria suficiente para atender 5,5 mil unidades consumidoras por um ano.

Uma vez constatadas as irregularidades, os responsáveis devem responder criminalmente pelo delito, já que o crime de furto de energia é previsto no Código Penal, no Art. 155 que afirma que:

Subtrair, para si ou para outrem, coisa alheia móvel:

Pena - reclusão, de um a quatro anos, e multa.

Como vimos acima, o fraudador poderá responder judicialmente pelo crime praticado, mas também deverá ressacir a concessionária, conforme está previsto na Norma Regulatória 414 no Art. 129 (Da Caracterização da Irregularidade e da Recuperação da Receita), que diz:

Na ocorrência de indício de procedimento irregular, a distribuidora deve adotar as providências necessárias para sua fiel caracterização e apuração do consumo não faturado ou faturado a menor.

§ 1o A distribuidora deve compor conjunto de evidências para a caracterização de eventual irregularidade por meio dos seguintes procedimentos:

I - emitir o Termo de Ocorrência e Inspeção - TOI, em formulário próprio, elaborado conforme Anexo V desta Resolução;

II - solicitar perícia técnica, a seu critério, ou quando requerida pelo consumidor ou por seu representante legal;

III - elaborar relatório de avaliação técnica, quando constatada a violação do medidor ou demais equipamentos de medição, exceto quando for solicitada a perícia técnica de que trata o inciso II; (Redação dada pela REN ANEEL 479, de 03.04.2012)

IV - efetuar a avaliação do histórico de consumo e grandezas elétricas; e

V - implementar, quando julgar necessário, os seguintes procedimentos:

a) medição fiscalizadora, com registros de fornecimento em memória de massa de, no mínimo, 15 (quinze) dias consecutivos; e

b) recursos visuais, tais como fotografias e vídeos.

O prejuízo não é apenas da concessionária, pois o Governo do Estado deixa de arrecadar em ICMS em contas que teriam sido geradas se não houvessem os desvios. Além disso, todos os consumidores pagam a conta dos que cometem o crime já que parte do valor não medido é repassado para a tarifa de energia.

Um dos grandes problemas enfrentados pelas empresas distribuidoras de energia elétrica são as perdas comerciais provocadas intencionalmente por consumidores ou por falhas nos medidores. A perda comercial é de 3,86% do faturamento da Energisa Paraíba, o que equivale a 203 *GWh*, valor suficiente para abastecer Campina Grande durante 4 meses.

Este problema tem sido enfrentado através da realização de inspeções técnicas ou perícia técnica, que é a atividade desenvolvida pelo órgão ou entidade por ele delegada

ou terceiro legalmente habilitado com vistas a examinar e certificar as condições físicas em que se encontra um determinado sistema ou equipamento de medição que são realizadas com técnicos capacitados e habilitados.

Contudo, não é possível inspecionar todos os consumidores atendidos pela empresa, para se ter uma ideia, a Paraíba possui cerca de 1,432 milhões de consumidores, deste total no ano de 2018 foram realizada 57 mil inspeções, que representa apenas 4% dos consumidores da empresa. Isto sem levar em consideração, que pode ser necessário realizar várias inspeções em um mesmo consumidor no período de um ano. Aumentar o número de equipes de inspeção não é economicamente viável e possivelmente não acarretaria melhorias significativas neste quadro, pois numa eventual dobra da quantidade de equipes, seriam feitas proporcionalmente 114 mil inspeções por ano, o que ainda é um número pequeno quando comparado ao total de consumidores. O caminho para combater as perdas estão na seleção dos consumidores que devem ser inspecionados, baseado nos dados cadastrais e no seu perfil de consumo.

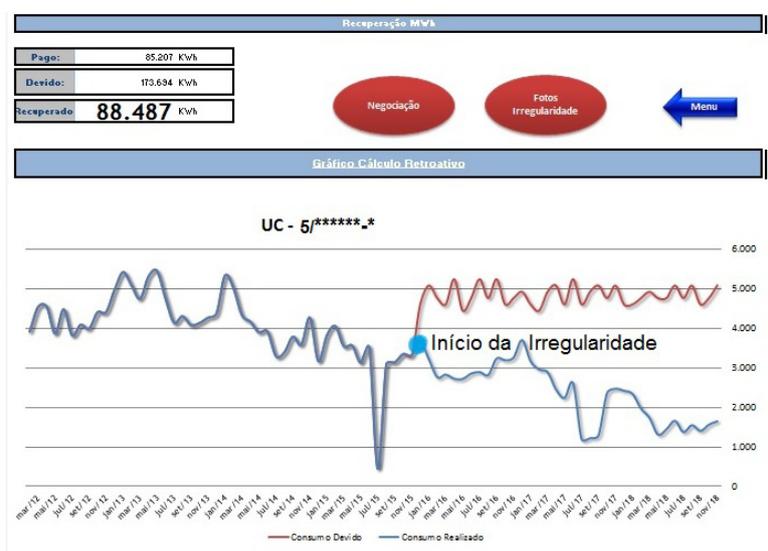
Uma inspeção técnica tem sempre um resultado e um laudo técnico, descrevendo e mostrando evidências da irregularidade encontrada. Os resultados podem ser agrupados em quatro categorias:

- Procedimento Irregular - Quando ocorre alguma alteração de fábrica no medidor, seja por defeito ou intervenção de terceiros.
- Desvio - Quando ocorre manipulação nas instalações elétrica antes do ou mesmo no medidor, com a finalidade de bular o consumo, não registrando de forma correta a energia que foi utilizada.
- Situação Normal - Não identificado irregularidades na unidade consumidora.
- Não visitada - Devido a alguma alteração na programação ou fatos externos.

Quando a visita resulta desvio ou procedimento irregular, as concessionárias tem como proceder para cobrar do infrator a energia que não foi medida. Esse montante é chamado de energia recuperada que corresponde a toda a energia que foi consumida, porém não foi faturada, durante o período em que existiu uma irregularidade ou fraude. Nestes casos, a concessionária adota o seguinte procedimento, segundo a orientação da ANEEL: primeiramente estima-se a data de início do período irregular, normalmente procurando por uma queda de consumo; a partir daí, observando a energia consumida anteriormente a esta data, faz-se uma estimativa do nível de consumo normal (regular) da unidade consumidora; e subtraindo a energia faturada no período irregular do nível de consumo normal estimado, para obter a quantidade de energia que foi consumida e não foi faturada. Abaixo temos um exemplo de recuperação de energia, utilizando os

passos acima:

Figura 1.22: Estimativa da Energia Recuperada



Fonte: Acervo Energisa Paraíba

O gráfico com destaque em vermelho, representa o que seria o consumo regular sem a fraude, já o gráfico em destaque de azul claro é a energia consumida com a irregularidade e, a diferença entre elas resulta na energia recuperada.

Quando um consumidor é regularizado, há uma expectativa que seu nível de energia faturada mensal aumente, de forma que corresponda ao nível de energia consumida antes do início da irregularidade. Este incremento de energia faturada é denominado de energia agregada. Normalmente observamos o incremento da energia durante um período de 12 meses. É possível pensar na energia agregada como uma forma de recuperação de receita, visto que, caso o consumo continuasse irregular, a empresa iria perder a quantidade de energia aproximadamente igual à energia incrementada. Embora não seja uma energia que a distribuidora efetivamente deixou de faturar, como é o caso da energia recuperada, ela representa o faturamento que a concessionária continuaria perdendo caso a unidade consumidora não fosse regularizada.

Para essa recuperação da receita observa-se que a legislação prevê parâmetros fixos que serão selecionados de acordo com a análise do histórico de consumo da unidade consumidora de forma a caracterizar a base de cálculo. Após isso, é analisado a identificação do período de irregularidade. Esse período é caracterizado por uma queda de consumo evidente que demonstra o momento da intervenção de terceiros na medição, acarretando na diminuição do consumo. Existem ainda, casos em que não há a efetiva queda no consumo, mas com a irregularidade devidamente comprovada, a legislação

permite a recuperação do consumo com outro critério de cobrança. Após os passos citados anteriormente e, comprovando a irregularidade, o Art. 130 da Resolução Normativa, afirma que:

Comprovado o procedimento irregular, para proceder à recuperação da receita, a distribuidora deve apurar as diferenças entre os valores efetivamente faturados e aqueles apurados por meio de um dos critérios descritos nos incisos a seguir, aplicáveis de forma sucessiva, sem prejuízo do disposto nos arts. 131 e 170:

I - utilização do consumo apurado por medição fiscalizadora, proporcionalizado em 30 dias, desde que utilizada para caracterização da irregularidade.

II - aplicação do fator de correção obtido por meio de aferição do erro de medição causado pelo emprego de procedimentos irregulares, desde que os selos e lacres, a tampa e a base do medidor estejam intactos;

III - utilização da média dos 3 (três) maiores valores disponíveis de consumo de energia elétrica, proporcionalizados em 30 dias, e de demanda de potências ativas e reativas excedentes, ocorridos em até 12 (doze) ciclos completos de medição regular, imediatamente anteriores ao início da irregularidade; (Redação dada pela REN ANEEL 670 de 14.07. 2015)

IV - determinação dos consumos de energia elétrica e das demandas de potências ativas e reativas excedentes, por meio da carga desviada, quando identificada, ou por meio da carga instalada, verificada no momento da constatação da irregularidade, aplicando-se para a classe residencial o tempo médio e a frequência de utilização de cada carga; e, para as demais classes, os fatores de carga e de demanda, obtidos a partir de outras unidades consumidoras com atividades similares; ou

V - utilização dos valores máximos de consumo de energia elétrica, proporcionalizado em 30 (trinta) dias, e das demandas de potência ativa e reativa excedentes, dentre os ocorridos nos 3 (três) ciclos imediatamente posteriores à regularização da medição.

Parágrafo único. Se o histórico de consumo ou demanda de potência ativa da unidade consumidora variar, a cada 12 (doze) ciclos completos de faturamento, em valor igual ou inferior a 40%(quarenta por cento) para a relação entre a soma dos 4 (quatro) menores e a soma dos 4 (quatro) maiores consumos de energia elétrica ativa, nos 36 (trinta e seis) ciclos completos de faturamento anteriores à data do início da irregularidade, a utilização dos critérios de apuração para recuperação da receita deve levar em consideração tal condição. (Redação dada pela REN ANEEL 479, de 03.04.2012)

No Art. 131 trata da cobrança adicional em relação as despesas com a inspeção quando

comprovada a irregularidade:

Nos casos de recuperação da receita, a distribuidora pode cobrar, adicionalmente, o custo administrativo incorrido com a realização de inspeção *in loco*, segundo o grupo tarifário e o tipo de fornecimento da unidade consumidora, conforme valores estabelecidos em resolução específica. Parágrafo único. Este procedimento somente se aplica aos casos em que o consumidor for responsável pela custódia dos equipamentos de medição da distribuidora, conforme disposto no inciso IV e parágrafo único do art. 167, ou nos demais casos, quando a responsabilidade for comprovadamente a ele atribuída.

O tempo de recuperação da energia é determinado pelo Art. 132, que diz:

O período de duração, para fins de recuperação da receita, no caso da prática comprovada de procedimentos irregulares ou de deficiência de medição decorrente de aumento de carga à revelia, deve ser determinado tecnicamente ou pela análise do histórico dos consumos de energia elétrica e demanda de potência, respeitados os limites instituídos neste artigo. (Redação dada pela REN ANEEL 479, de 03.04.2012)

§ 1º Na impossibilidade de a distribuidora identificar o período de duração da irregularidade, mediante a utilização dos critérios citados no caput, o período de cobrança fica limitado a 6 (seis) ciclos, imediatamente anteriores à constatação da irregularidade.

§ 2º A retroatividade de aplicação da recuperação da receita disposta no caput fica restrita à última inspeção nos equipamentos de medição da distribuidora, não considerados o procedimento de leitura regular ou outros serviços comerciais e emergenciais.

§ 3º No caso de medição agrupada, não se considera restrição, para apuração das diferenças não faturadas, a intervenção da distribuidora realizada em equipamento distinto daquele no qual se constatou a irregularidade.

§ 4º Comprovado, pela distribuidora ou pelo consumidor, que o início da irregularidade ocorreu em período não atribuível ao atual titular da unidade consumidora, a este somente devem ser faturadas as diferenças apuradas no período sob sua responsabilidade, sem aplicação do disposto no art. 131, exceto quando ocorrerem, cumulativamente, as situações previstas nos incisos I e II do § 1º do art. 128. (Redação dada pela REN ANEEL 479, de 03.04.2012)

§ 5º O prazo máximo de cobrança retroativa é de 36 (trinta e seis) meses

As ações para identificação das unidades consumidoras que praticam fraude ou defeito na medição são facilitadas pelos apontamentos dos leituristas, denúncias ou mesmo

por análises preliminares por analistas através de informações privilegiadas contidas no *Date Warehouse* (apresentamos posteriormente a estrutura deste programa).

Diariamente são realizadas inspeções em unidades com suspeita de fraude, identificadas por análises do perfil comportamental do consumo, que neste caso se enquadram em ações corretivas. Já as ações preventivas para obstacular as alterações nos equipamentos de medição, várias são as medidas, tais como: blindagem dos bornes dos medidores, externalização da medição, ramais anti-furto, entre outros, e dessa forma restringindo as possibilidades de sucesso nas intervenções dos fraudadores, apoiadas por campanhas de conscientização, mostrando que o furto proporciona aumento da tarifa de energia.

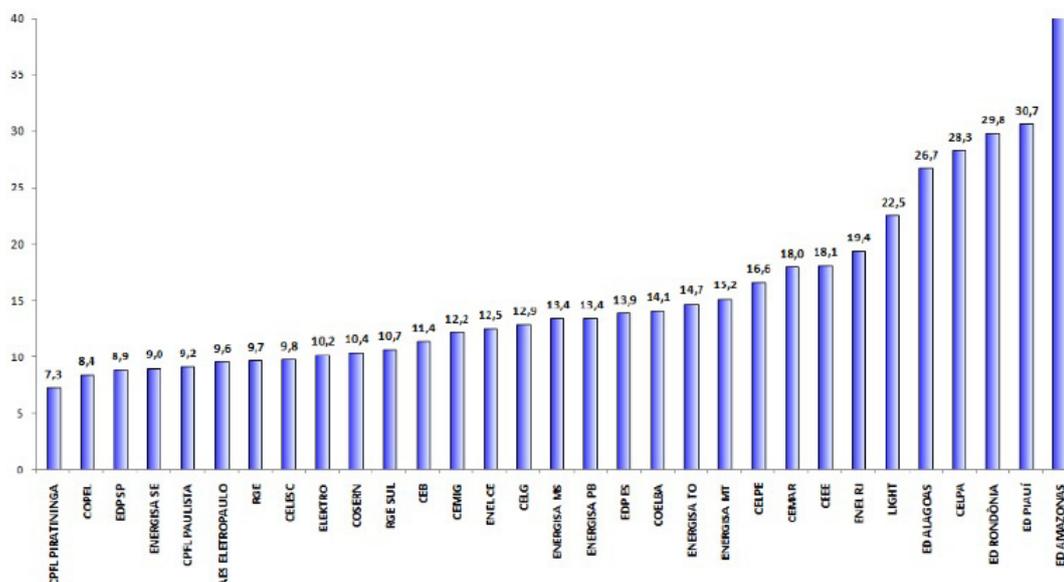
A falha de equipamentos por deterioração prejudica a metodologia de cálculo da perda técnica, isso devido ao tempo de utilização, deixando de ser contabilizado e, conseqüentemente, sendo alocadas para as perdas comerciais.

Embora a perda de energia sejam repassadas para os consumidores, através de ajustes na tarifa de energia, conforme já foi visto, a ANEEL define limites regulatórios para que parte do prejuízo devido as perdas seja paga pelas concessionárias.

Para termos uma ideia, em 2015 as principais distribuidoras do país obtiveram em suas receitas uma perda comercial em torno de 5% da energia injetada nas redes de distribuição, o que representa em torno de 15 milhões de megawatts-hora (MWh) por ano.

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRA-DEE), hoje, no Brasil, 16% de toda energia produzida é perdida. Há dez anos esse percentual era de 12%. Na Figura 1.23 estão relacionadas às perdas globais de algumas concessionárias brasileiras:

Figura 1.23: Percentual de Perda do Sistema Global em 2017



Fonte: Abradee ¹⁷

Para o combate a perda comercial, na Grupo Energisa, os direcionamentos a campo tem um parceiro estratégico e fundamental na recuperação da receita que é o Centro de inteligência de Combate as Perdas (CICOP). É nesse ambiente que são planejadas as ações de combate as Perdas, através de informações precisas, de análises consistentes e dinâmica.

As indicações de possíveis alvos de consumidores que estejam praticando o furto de energia são demandadas pelo CICOP, através de geração de listas, utilizando diversas regras, que são critérios adotados para relacionar as unidades consumidoras suspeitas.

A seguir destacamos a efetividade de algumas regras utilizadas pelo CICOP no período de 2017 a 2019:

Tabela 1.2: Efetividade das regras

REGRA	EFETIVIDADE
Desligados	44%
Suspeita de Fraude	38%
Denúncia	20%
Reincidentes	17%
Degrau de Consumo	8%

Na Tabela acima classificamos como Desligados as unidades consumidoras que, por

inadimplência, tiveram suspenso o fornecimento de energia há dois ou mais meses não regularam a situação. Para esta regra, 44% das indicações o cliente se autorreligou gerando perda para concessionária, pois nessa situação não é emitida a fatura do consumo.

Quando a unidade apresenta indícios de fraude, objetos estranhos na caixa de medição ou mesmo um consumo incompatível com o porte da unidade consumidora, o leiturista efetua um apontamento caracterizando que ali existe uma suspeita de fraude.

A regra Denúncia conta com o apoio da Sociedade que através do site da Energisa, na opção Denuncie Furto de Energia, cadastra de forma segura e confidencial, relatos de condutas contrárias ao código de ética e à lei. O serviço está disponível 24 horas. A denúncia também pode ser feita através dos canais de atendimento ao cliente e nas agência de atendimento presencial.

Os clientes que já fraudaram são monitorados através do consumo de energia. Caso ocorra, após a regularização, uma queda brusca de consumo, este são direcionados a inspeção, e 17% dos casos estão repetindo o mesmo ato ilícito, daí chamamos de reincidentes.

Observe que entre as principais regras utilizadas, a que tem o pior desempenho é o degrau de consumo com 8%, isso quer dizer que a cada cem unidades consumidoras indicadas para inspeção nesta regra, apenas oito são identificadas com alguma irregularidade. Assim, o objetivo deste trabalho é aprimorar a regra de Degrau de Consumo, que hoje é calculada através de comparação entre médias aritméticas de um determinado período de meses, comparada com a média semestral atual. A proposta é utilizar os conhecimentos de medidas de tendência central, que vamos abordar no Capítulo 2, e ao fim do trabalho, verificar qual o ganho desse estudo no aumento da efetividade e calcular quanto foi evitado de Perda não-técnica, como também o valor em reais do ICMS arrecadado para o Estado com o fruto deste trabalho.

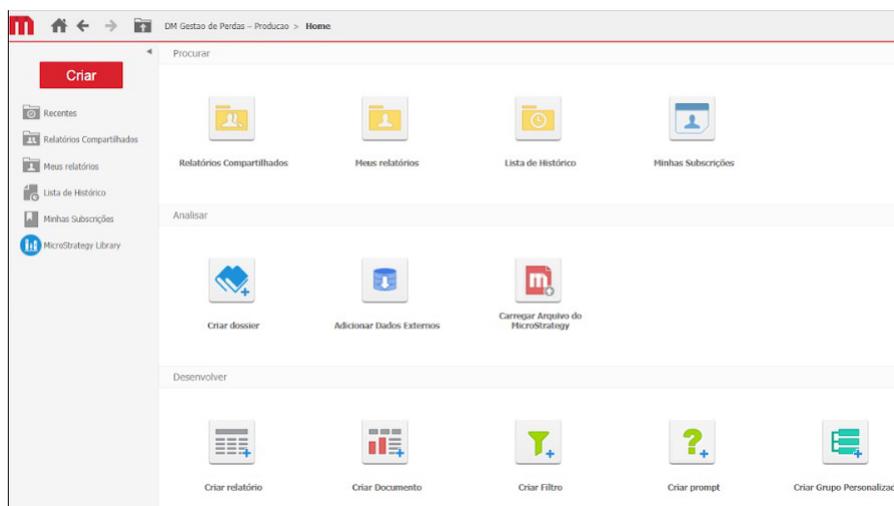
Para o desenvolvimento deste trabalho a distribuidora local de energia elétrica disponibilizou a base de dados para inspeções reais com o objetivo do refinamento da regra Degrau de Consumo e para nossos experimentos utilizamos o *Data Warehouse*, que agora vamos detalhar.

1.4 *O Data Warehouse*

Data Warehouse(DW) é um termo originalmente do inglês, cuja tradução seria “Depósito de dados”, ou seja, são dados digitais que são usados para armazenar informações detalhadas relativamente a uma empresa, criando e organizando relatórios através de históricos que são depois usados pela empresa para ajudar a tomar decisões importantes

com base nos fatos apresentados. O *Data Warehouse* serve para recolher informações de uma empresa para que essa possa controlar melhor um determinado processo, disponibilizando uma maior flexibilidade nas pesquisas e nas informações que necessitam. Além de manter um histórico de informações, o *Data Warehouse* cria padrões, melhorando os dados analisados de todos os sistemas, corrigindo os erros e reestruturando os dados sem afetar o sistema de operação, apresentando somente um modelo final e organizado para análise.

Figura 1.24: Ferramenta de Gestão de Perdas

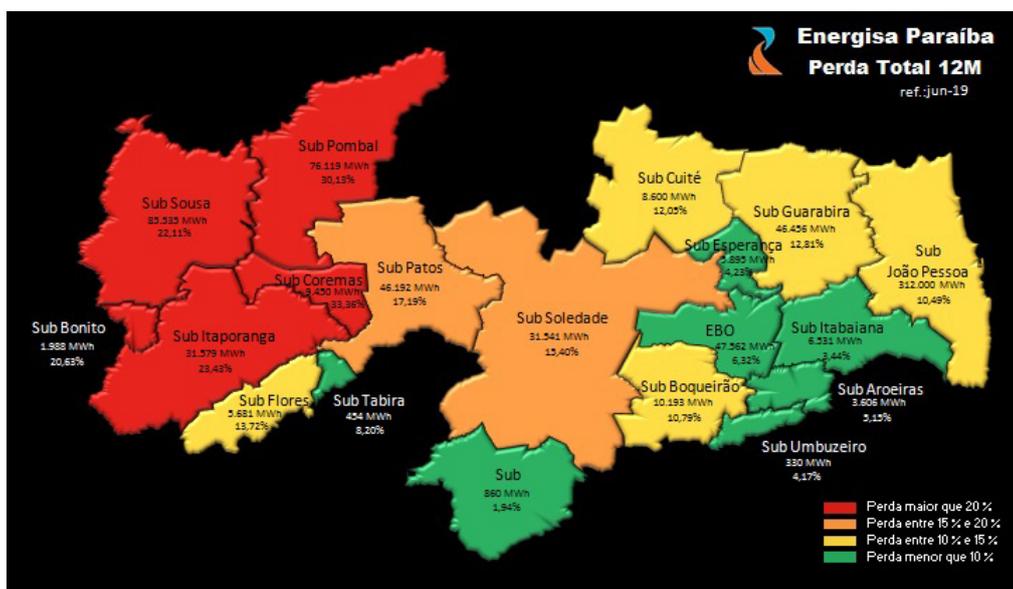


Fonte: Plataforma analítica da MicroStrategy

Graças à análise e cruzamento de informações históricas disponibilizadas de maneira rápida, precisa e consistente, foi possível à Energisa identificar desvios de maneira antecipada. Essa ferramenta tem como vantagem a integração de fontes de dados diversificadas em um só local, onde os dados são limpos de coisas que só interessam ao mecanismo de operação do banco de dados e da aplicação que o gerencia.

Com auxílio do DW é possível realizar consultas em massa para identificar os consumidores que devem ser submetidos à inspeção, como também realizar estudos e análises igual a Figura 1.25, que nos direcionar a realizar ações de combate a fraude em lugares estratégicos e que as perdas comerciais estão mais críticas.

Figura 1.25: Perda de Energia no Estado da Paraíba



Fonte: Energisa Paraíba. Acesso em: 05/06/2019

O mapa da Paraíba acima, podemos perceber quatro faixas de cores, onde a vermelha representa a localidade de maior índice de Perda Global, seguida das regiões alaranjadas, depois amareladas e finalmente, as regiões representadas pela cor verde que o índice de perda é menor. Ele é um grande indexador de dados, sendo fácil acessar todos dados de formas bem padronizada, integrada e rápida, agilizando a tomada de decisão, além da facilidade de acessar dados históricos. Porém a implementação e a manutenção para manter em conformidade com todos os sistemas existentes, que estão em constante mutação e novos sistemas, não é simples e é caro, além da dificuldade de estabelecer e manter regras claras para todas as fases de operação de um DW.

Para validar as análises do DW em campo, a Energisa Paraíba conta com 33 equipes de combate a fraude, compostas por dois eletricitistas, com investimento inicial por cada profissional em torno de R\$12.500,00, além de equipamentos e uniformes especiais anti-chamas, além de ferramentas e veículos apropriados e treinamentos. Entre os anos de 2015 e 2018 foram efetuadas aproximadamente 176.622 inspeções em unidades consumidoras em todo o Estado, resultando em 29.528 autuações de irregularidades. Além destes investimentos iniciais, as equipes precisaram ser equipadas com comparadores de energia, sondas, boroscópio (equipamento com câmera para verificar todo o trajeto dos fios até chegar na medição do cliente, que auxilia na identificação de derivações dentro da alvenaria) e máquinas fotográficas. Uma visita de uma equipe a uma unidade consumidora que resulta em normal é em média R\$84,00 (oitenta e quatro reais).

Capítulo 2

Medidas de Tendência Central e Dispersão

Abordaremos neste Capítulo alguns conceitos de Medidas de Tendência Central e Dispersão que serão posteriormente usadas para aperfeiçoar a regra de degrau de consumo. As principais referências usadas neste Capítulo foram [8], [10], [11] e [15].

2.1 Medidas de Tendência Central

Em estatística, uma medida de tendência central é um valor central para uma distribuição de probabilidade, ou ainda chamada de média ou simplesmente centro da distribuição. As medidas de tendência central mais comuns e trabalhadas no Ensino Fundamental e Médio, são a média aritmética, a mediana e moda.

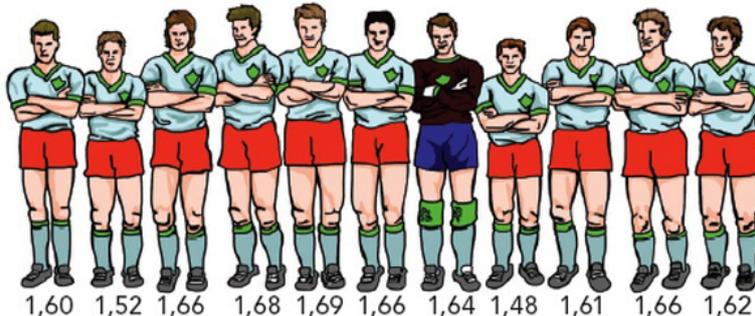
Definição 2.1. A Média Aritmética denotada por \bar{x} (lemos “ x barra”), é obtida somando todos os dados e dividindo o resultado pelo número deles, isto é:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (2.1)$$

Assim, podemos entender que a média aritmética é um valor intermediário entre os extremos no conjunto dos números reais.

Exemplo 2.1. Na Figura 2.1 abaixo observamos a altura dos jogadores de um certo time de futebol.

Figura 2.1: Altura dos jogadores



A média aritmética das alturas desses atletas, é dada por:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1,60 + 1,52 + 1,66 + 1,68 + 1,69 + 1,66 + 1,64 + 1,48 + 1,61 + 1,66 + 1,62}{11} \\ &= \frac{17,82}{11} = 1,62 \end{aligned}$$

Logo, temos que a altura média dos jogadores desse time é de 1,62 metros.

Exemplo 2.2. Um certo cliente da Energisa Paraíba obteve os seguintes consumos de energia nos últimos 6 meses:

Tabela 2.1: Histórico de consumo mensal

Mês	Consumo (KWh)
Janeiro	220
Fevereiro	215
Março	222
Abril	210
Maio	213
Junho	226

O consumo médio de energia desse cliente nesse semestre pode ser calculado como:

$$\bar{x} = \frac{220 + 215 + 222 + 210 + 213 + 226}{6} = \frac{1.306}{6} = 217,67.$$

O consumo médio de energia elétrica nos últimos 6 meses do cliente é de 217,67 KWh.

Com relação a média aritmética, podemos fazer as seguintes observações:

- A médias aritmética de amostras selecionadas de uma mesma população tendem a variar menos do que outras medidas de centralidade, como a moda e a mediana, que abordamos um pouco mais adiante.

- A média aritmética de um conjunto de dados leva em consideração todos os valores dos dados.
- Uma desvantagem da média aritmética é que apenas um valor extremo, ou seja, um valor atípico pode impactar consideravelmente no resultado. Dessa forma, dizemos que a média aritmética não é uma medida *resistente* de centro.

Exemplo 2.3. Com relação ao Exemplo 2.2, por equívoco do leitorista, no mês de junho, se o consumo coletado fosse igual a 1.226, então qual seria a nova média?

Tabela 2.2: Histórico de consumo mensal com erro na coleta

Mês	Consumo (KWh)
Janeiro	220
Fevereiro	215
Março	222
Abril	210
Maior	213
Junho	1226

O consumo médio de energia nesse semestre pode ser calculado como:

$$\bar{x} = \frac{220 + 215 + 222 + 210 + 213 + 1.226}{6} = \frac{2306}{6} = 384,34.$$

O consumo médio de energia elétrica nos últimos 6 meses do cliente é de 384,34KWh.

Observamos que apenas um valor atípico contribuiu para que a média aritmética tenha uma elevação de 43,54%.

Definição 2.2. Considerando as sequências finitas de n de números reais $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ e $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ chamados pesos, com $n > 1$ e $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_n$. A média ponderada é o número real \bar{x}_p , dado por:

$$\bar{x}_p = \frac{x_1p_1 + x_2p_2 + x_3p_3 + \dots + x_np_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}$$

Uma forma alternativa para a média ponderada é dada por:

$$\bar{x}_p = \frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \tag{2.2}$$

Definimos a frequência absoluta (f_i) como o número de vezes em que uma determinada variável assume um valor e a frequência relativa f_r como a razão entre a frequência absoluta f_i e o número total de dados n , onde representamos como sendo $f_r = \frac{f_i}{n}$, com distribuição x_i .

Exemplo 2.4. Observe a tabela abaixo:

Tabela 2.3: Tabela de pontuação

Pontuação (x_i)	Frequência (f_i)	$x_i f_i$
4	7	28
5	8	40
6	6	36
8	4	32
10	3	30
TOTAL	28	166

Neste caso, a média ponderada é dada da seguinte forma:

$$\bar{x}_p = \frac{4 \times 7 + 5 \times 8 + 6 \times 6 + 8 \times 4 + 10 \times 3}{28} = \frac{166}{28} = 5,93 \quad (2.3)$$

Definição 2.3. A média geométrica, denotada por G , de uma sequência de números reais positivos (x_1, x_2, \dots, x_n) , é definida como $G = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n}$. Assim,

$$x_1 x_2 \cdots x_n = \underbrace{G \cdot G \cdot \dots \cdot G}_{n \text{ vezes}} = G^n \quad (2.4)$$

Exemplo 2.5. Um investimento rende no primeiro ano 5%, no segundo ano 7% e no terceiro ano 6%. Vamos calcular o rendimento médio deste investimento. Iniciamos identificando os fatores de crescimento:

- Primeiro ano: rendimento de 5% → fator de crescimento: 1,05
- Segundo ano: rendimento de 7% → fator de crescimento: 1,07
- Terceiro ano: rendimento de 6% → fator de crescimento: 1,06

Assim,

$$G = \sqrt[3]{1,05 \cdot 1,06 \cdot 1,07} = \sqrt[3]{1,19091} = 1,05996.$$

O rendimento médio será $1,05996 - 1 = 0,05996$. Portanto, o rendimento médio dessa aplicação nesse período, é de aproximadamente 6%.

Definição 2.4. A média quadrática, denotada por Q , é a média de uma sequência de números reais não nulos (x_1, x_2, \dots, x_n) , tal que $Q = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}$.
Dessa maneira,

$$x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 = \underbrace{Q^2 + Q^2 + \dots + Q^2}_{n \text{ vezes}} = nQ^2. \quad (2.5)$$

Em sistemas de distribuição de energia, por exemplo, as tensões e correntes são em geral dadas em termos de sua média quadrática. Obtemos a média quadrática de um conjunto de valores quando elevamos cada um ao quadrado, somando os resultados, em seguida dividindo o total pelo número n de valores e finalmente aplicando a raiz quadrada do resultado.

Exemplo 2.6. Calcule a média quadrática dos seguintes valores de fornecimento de energia (em volts): 110 e 220.

$$Q = \sqrt{\frac{110^2 + 220^2}{2}} = \sqrt{\frac{12.100 + 48.400}{2}} = \sqrt{\frac{60.500}{2}} = 173,93V. \quad (2.6)$$

Definição 2.5. Obtemos a média harmônica dividindo o número n de valores pela soma dos inversos de todos os valores. Assim, considerando um conjunto de n dados $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, a média harmônica entre esses dados, indicada por H , é dado por:

$$\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n} = \underbrace{\frac{1}{H} + \frac{1}{H} + \dots + \frac{1}{H}}_{n \text{ vezes}} = n \frac{1}{H} \quad (2.7)$$

A média harmônica costuma ser usada como medida de tendência central para conjuntos de dados que consistem em taxas de variação, como por exemplo velocidades.

Definição 2.6. A Mediana (M_d) definimos como sendo o valor que ocupa a posição central do conjunto de dados ordenados de forma crescente ou decrescente, ou seja, é uma medida de tendência central que tem como característica a divisão de um conjunto ao meio.

Logo, a mediana de um conjunto o separa em duas partes de modo que 50% dos valores sejam menores que ela e 50% dos valores sejam maiores que ela. Se o conjunto tiver um número ímpar de termos, a mediana é o próprio termo central. Caso o conjunto tenha um número par de termos, a mediana será a média aritmética dos dois termos centrais.

Exemplo 2.7. (Enem 2009) - Na tabela 2.4, são apresentados dados da cotação mensal do ovo extra branco vendido no atacado, em Brasília, em reais, por caixa de 30 dúzias de ovos, em alguns meses dos anos 2007 e 2008.

Tabela 2.4: Cotação do ovo extra branco no atacado

Mês	Cotação	Ano
Outubro	R\$ 83,00	2007
Novembro	R\$ 73,10	2007
Dezembro	R\$ 81,60	2007
Janeiro	R\$ 82,00	2008
Fevereiro	R\$ 85,30	2008
Março	R\$ 84,00	2008
Abril	R\$ 84,60	2008

De acordo com esses dados, qual o valor da mediana das cotações mensais do ovo extra branco nesse período?

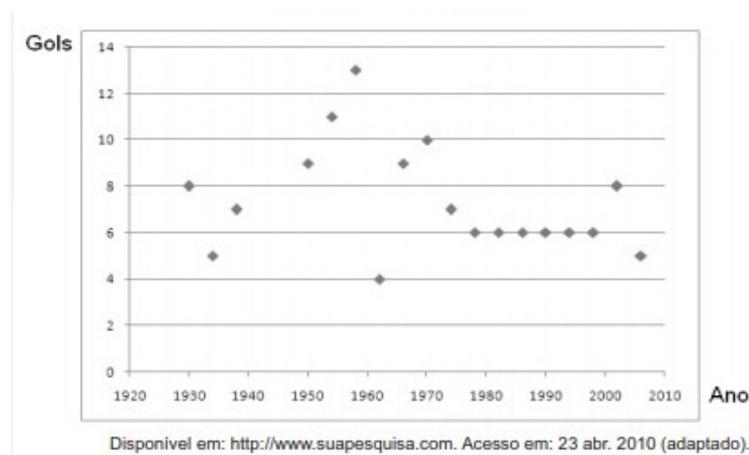
Para solução deste problema devemos organizar os valores em ordem crescente:

73,10 81,60 82,00 83,00 84,00 84,60 85,30.

Como a quantidade de elementos é ímpar, daí podemos observar que o elemento 83,00 é o termo central, logo esse elemento representa a mediana.

Exemplo 2.8. (Enem 2010) - O gráfico apresenta a quantidades de gols marcados pelos artilheiros das Copas do Mundo desde a Copa de 1930 até a de 2006.

Figura 2.2: Quantidade de gols dos artilheiros das Copas do Mundo



A partir dos dados apresentados, qual a mediana das quantidades de gols marcados pelos artilheiros das Copas do Mundo?

2. Medidas de Tendência Central e Dispersão

Primeiramente, devemos colocar os dados em ordem crescente, daí temos: 4, 5, 5, 6, 6, 6, 6, 6, 6, 7, 7, 8, 8, 9, 9, 10, 11, 13. Neste caso temos uma quantidade par de elementos, com isso a mediana será a média aritmética dos dois termos centrais:

$$M_d = \frac{6+7}{2} = 6,5.$$

Com relação a mediana, podemos fazer as seguintes observações:

- A mediana é uma medida resistente, ou seja, ela não se altera por grandes quantidades, quando entre estes, incluímos alguns poucos valores extremos.
- A mediana não utiliza todos valores de dados.

Definição 2.7. A Moda, denotada por M_o é obtida colocando todos os dados em ordem crescente ou decrescente, em seguida verificar a ocorrência de cada elemento do conjunto de dados, aquele elemento de maior frequência denominamos de Moda.

Notamos que a definição acima coincide com a definição comum de moda, onde falamos que uma roupa está em moda quando está muito em evidência seu uso.

Exemplo 2.9. A tabela abaixo apresenta as notas em matemática de uma turma de 30 alunos.

Tabela 2.5: Notas em Matemática

Nota	Frequência (f_i)
3	4
4,5	5
5	2
6,5	3
7	6
8	5
9	4
10	1

Fonte: Mundo Educação.¹(2019).

Na coluna da esquerda temos as notas na disciplina de matemática e na coluna da direita, quantos alunos obtiveram a respectiva nota. Dessa forma, podemos observar que a nota que mais aparece nesse conjunto de dados é 7. Portanto, $M_o = 7$.

Quando o conjunto possui dois dados com a maior frequência, chamamos de bimodal, acima de dois valores chamamos de multimodal. Quando nenhum valor se repete, afirmamos que não há moda.

Exemplo 2.10. Os dados a seguir, são referentes ao número dos calçados vendidos em uma loja num determinado dia: 35, 33, 36, 35, 37, 36, 39, 40, 42, 43, 35, 36, 42.

Nesse caso, existem dois números de sapatos que aparecem mais vezes, ou seja, os números 35 e 36. Logo, temos duas modas como solução. A moda é uma das únicas medidas de tendência central que não se aplica apenas a números. Por exemplo, se perguntarmos o nome dos jogadores que disputam o campeonato brasileiro, ainda é possível medir a moda, basta ver quantos jogadores têm nomes iguais.

2.2 Relação entre Média, Moda e Mediana

Agora que sabemos a diferença entre as medidas de tendência central, vamos observar como a média aritmética, mediana e moda se comportam relativamente uma em relação às outras. Para isso, faz necessário entender a assimetria que algumas bases de dados se apresentam.

Uma distribuição quando apresenta o mesmo valor para a moda, a média aritmética e a mediana é chamada de simetria, ou seja, essas medidas, teoricamente, coincidem no ponto central da distribuição.

Quando essa igualdade não ocorre, temos distribuições assimétricas, que é o grau de desvio ou afastamento da simetria de uma distribuição de frequência, que é um agrupamento de dados em classes, de tal forma que contabilizamos o número de ocorrências em cada classe e, conseqüentemente, as distribuições apresentam a “corcunda” do gráfico mais à direita ou mais à esquerda

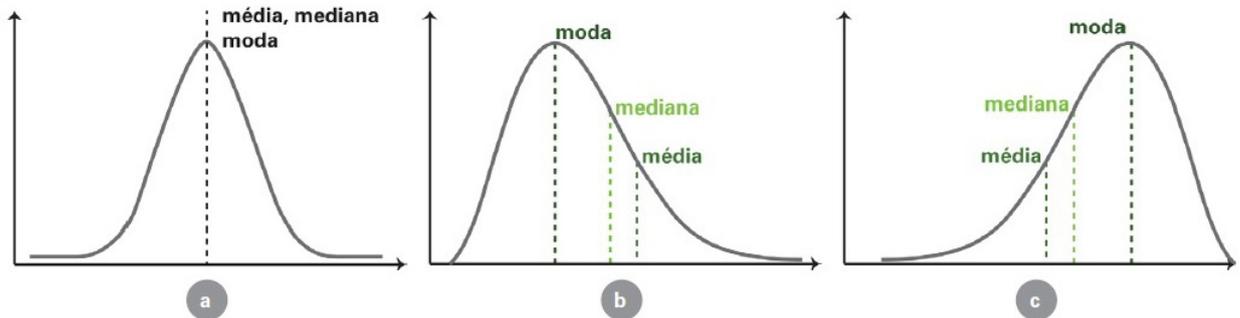
Se a frequência de uma distribuição tem uma curva mais longa à direita da ordenada máxima que à esquerda, diz-se que é uma distribuição assimétrica à direita (Ver Figura 2.3b), ou que possui assimetria positiva. Se é o inverso que ocorre, diz-se que ela é assimétrica à esquerda (Ver Figura 2.3c), ou de assimetria negativa.

Para distribuições assimétricas, a média tende a situar-se do mesmo lado da moda (curva mais longa). Diante desses resultados, podemos observar que distribuição simétrica é dada pela igualdade entre a média aritmética, mediana e moda, ou seja $\bar{x} = M_d = M_o$, distribuição assimétrica positiva é dada por $\bar{x} > M_d > M_o$ e, distribuição assimétrica negativa é dada por $\bar{x} < M_d < M_o$.

A seguir ilustramos aproximadamente as posições dessas três medidas para diferentes distribuições:

2. Medidas de Tendência Central e Dispersão

Figura 2.3: Comparação das posições das medidas de tendência central em diferentes distribuições



Fonte: Universidade de São Paulo² (2019, p.1)

(a) Distribuição perfeitamente simétrica: todas as medidas coincidem.

(b) e (c) Distribuição assimétricas, enviesadas à esquerda e direita, respectivamente, onde as medidas são diferentes.

Exemplo 2.11. Durante um período de 50 dias, foram analisados em um setor público, processos autuados, apresentando uma determinada característica especial. A tabela abaixo apresenta a quantidade destes processos analisados por dia e o número de dias que isto ocorreu. Quantidade de processos analisados no dia X e número de dias em que foram analisados X processos:

Tabela 2.6: Processos analisados

Quantidade de processos analisados no dia (X)	Número de dias que foram analisados os processos (f_i)
0	5
1	8
2	12
3	16
4	5
5	4

Neste caso, sendo \bar{x} , M_d e M_o , respectivamente, a média aritmética, mediana e moda, vamos determinar cada uma das medidas.

Inicialmente, note que a média aritmética dessa distribuição de dados é dada por,

$$\bar{x} = \frac{5 \cdot 0 + 8 \cdot 1 + 12 \cdot 2 + 16 \cdot 3 + 5 \cdot 4 + 4 \cdot 5}{50} = \frac{0 + 8 + 24 + 48 + 20 + 20}{50} = 2,4$$

e a mediana,

$$M_d = \frac{2 + 3}{2} = 2,5.$$

Além disso, note que, a moda da distribuição desses dados é $M_o = 3$.

Comparando os resultados, segue que, $\bar{x} < M_d < M_o$ e portanto, temos uma distribuição assimétrica negativa, o que corresponde ao gráfico 2.3c.

Cada uma dessas medidas tem suas vantagens e desvantagens, dependendo do conjunto de dados e seu propósito. É preciso entender bem estes casos para determinar o significado de cada medida afim de não utilizá-las de forma equivocada e, conseqüentemente, distorcer os dados estatísticos. Para amostras grandes, é recomendado aplicar a média aritmética, pois teremos uma melhor estimativa do valor verdadeiro de uma medida física. Porém, para uma amostra reduzida contendo valores atípicos a utilização da média aritmética como medida central poderá acarretar problemas. Neste caso, a mediana é uma medida mais viável e robusta para ser utilizada em contraste com a moda, pois existem situações onde ela não está definido.

2.3 Medidas de Dispersão ou Variabilidade

A variabilidade que os dados de um conjunto apresentam entre si é chamado de dispersão. Desta maneira, a única possibilidade de não existir dispersão é quando todos os dados são iguais. Se os valores dos dados estão próximos, temos uma pequena dispersão.

As medidas de dispersão mais comuns são amplitude total, desvio médio, variância e desvio-padrão.

Definição 2.8. A amplitude total de um conjunto de elementos representado por $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$ é a diferença entre o maior e menor valor, isto é,

$$\text{Amplitude} = (\text{valor máximo dos dados}) - (\text{valor mínimo dos dados}).$$

Esta medida de dispersão utiliza apenas dados mínimo e máximo, sendo sensível a valores extremos, o que torna essa medida pouco útil.

Exemplo 2.12.

Um certo cliente da Energisa Paraíba verificou que o histórico de consumo de energia nos últimos 6 meses foram os seguintes:

Podemos determinar a amplitude para este período analisado, observando que os valores máximo e mínimo, são respectivamente, 125 e 80. Desta forma, a amplitude é

Tabela 2.7: Histórico de consumo semestral

Mês	Consumo (KWh)
Janeiro	80
Fevereiro	125
Março	101
Abril	110
Maior	93
Junho	116

determinada pela diferença entre eles, ou seja, a amplitude é a diferença entre 125 e 80, isto é 45.

Definição 2.9. O desvio médio absoluto, denotado por DMA, é a distância média dos dados até a média e calculamos através da diferença entre o valor de uma medida e o valor médio desse conjunto de dados, onde vamos representar por $\delta_i = (x_i - \bar{x})$

O desvio médio de um conjunto de N elementos $(x_1, x_2, \dots, x_{N-1}, x_N)$ é definido da seguinte forma:

$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N} \quad (2.8)$$

Como o desvio médio absoluto requer a utilização de valores absolutos, logo ele usa uma operação que não é “algébrica”³, onde a soma das variações é nula, devido aos sinais positivos e negativos. Por este motivo é necessário calcular o módulo dos desvios, isso torna uma solução viável, porém, matematicamente, não teremos como utilizar esse fato em fórmulas algébricas.

Exemplo 2.13. Consideramos os dados apresentados no Exemplo 3.8. Vamos determinar o desvio médio absoluto. Primeiramente, a média aritmética, é dada:

$$\bar{x} = \frac{80 + 125 + 101 + 110 + 93 + 116}{6} = \frac{625}{6} = 104,17 \quad (2.9)$$

Utilizando a relação (3.6), podemos determinar o desvio médio absoluto,

$$\begin{aligned} DMA &= \frac{|80 - 104,17| + |125 - 104,17| + |101 - 104,17|}{6} + \\ &\quad \frac{|110 - 104,17| + |93 - 104,17| + |116 - 104,17|}{6} \\ &= \frac{24,17 + 20,83 + 3,17 + 5,83 + 11,17 + 11,83}{6} = \frac{77}{6} = 12,83 \end{aligned}$$

³As operações algébricas incluem adição, multiplicação, raízes e potências, porém os valores absolutos não estão inclusos entre as operações algébricas.

Para calcular o desvio mediano absoluto, substituímos a média aritmética pela mediana na definição anterior. Tanto o desvio médio absoluto como o desvio mediano absoluto, utilizam a função módulo para evitar cancelamentos mútuos entre valores positivos e negativos dos desvios. Para o estudo dos desvios estatísticos, a utilização da função módulo não é indicada. Logo, é conveniente utilizar outra medida de dispersão, que utilize o quadrado dos desvios em relação à média.

Definição 2.10. A variância de um conjunto de dados $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_N)$, onde:

$$Var(x) = \frac{\sum_{i=1}^N (\delta_i)^2}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N} \quad (2.10)$$

Logo, podemos definir a variância como sendo a soma dos quadrados dos desvios de cada observação em relação a média e dividida por N .

Exemplo 2.14. Novamente, vamos determinar a variância para Exemplo 3.8, vamos determinar a variância.

Do exemplo anterior já obtemos que $(\bar{x}) = 104,17$ e utilizando esta informação na a relação (3.9), temos:

$$\begin{aligned} Var(x) &= \frac{(80 - 104,17)^2 + (125 - 104,17)^2 + (101 - 104,17)^2}{6} + \\ &\quad \frac{(110 - 104,17)^2 + (93 - 104,17)^2 + (116 - 104,17)^2}{6} \\ &= \frac{(-24,17)^2 + (20,83)^2 + (-3,17)^2 + (5,83)^2 + (-11,17)^2 + (11,83)^2}{6} \\ &= \frac{77}{6} = 12,83 \end{aligned}$$

Definição 2.11. O desvio-padrão é a média quadrática dos desvios das medidas em relação a média aritmética, denotada por s .

$$s = \sqrt{\text{variância}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2.11)$$

Exemplo 2.15. Essa medida de variabilidade é muito utilizada, pois ela mede de forma eficaz a dispersão dos dados. E para obter essa medida, basta determinar a raiz quadrada da variância

Ainda no exemplo 3.8, vamos determinar o desvio-padrão. Conforme exemplo anterior, sabemos que a variância é igual a 12,83, assim basta aplicar a raiz quadrada no resultado da variância, logo:

$$s = \sqrt{12,83} = 3,58 \quad (2.12)$$

O desvio-padrão resolve o problema dos sinais dos desvios apresentados pelo desvio médio, pois eleva ao quadrado cada um desses desvios, eliminando o inconveniente dos sinais negativos.

Propriedades Importantes do desvio-padrão:

- O desvio-padrão é uma medida que possibilita observar o quanto os valores de dados se afastam da média.
- O desvio-padrão s pode crescer demasiadamente com a inclusão de valores atípicos, ou seja, valores muito afastados dos demais.

2.4 Desigualdade das médias

Teorema 2.1. *Sejam (x_1, x_2, \dots, x_n) números reais positivos em ordem crescente e denotemos por H, G, A, Q respectivamente as médias harmônica, geométrica, aritmética e quadrática desses números, então temos as seguintes desigualdades:*

$$x_1 \leq H \leq G \leq A \leq Q \leq x_n. \quad (2.13)$$

Além disso, a igualdade em qualquer ponto das desigualdades acima é possível se, e somente se, $x_1 = x_2 = \dots = x_n$ e, nestas condições, temos necessariamente a igualdade de todas as médias.

Vamos provar os casos $n = 2$, $n = 3$ e $n = 4$. Observamos que a prova no caso geral pode ser feita usando argumentos análogos.

Demonstração: Inicialmente, vamos provar que se $n = 2$, então $A \geq G$. De fato, tomando x e y reais positivos, temos:

$$G^2 = xy = \left(\frac{x+y}{2}\right)^2 - \left(\frac{x-y}{2}\right)^2 \leq \left(\frac{x+y}{2}\right)^2 = A^2,$$

com a igualdade sendo válida apenas quando ocorrer $x = y$. O resultado da desigualdade $A \geq G$ para o caso $n = 4$ é obtido imediatamente aplicando o caso $n = 2$ duas

vezes como podemos observar abaixo. Considerando x, y, z e t reais positivos, temos que:

$$\begin{aligned} \frac{x + y + z + t}{4} &= \frac{\left(\frac{x + y}{2}\right)^2 + \left(\frac{z + t}{2}\right)^2}{2} \geq \sqrt{\left(\frac{x + y}{2}\right)\left(\frac{z + t}{2}\right)} \\ &\geq \sqrt{\sqrt{xy}\sqrt{zt}} \\ &= \sqrt{\sqrt{xyzt}} \\ &= \sqrt[4]{xyzt} \end{aligned}$$

Na primeira desigualdade, a igualdade só ocorre se, e somente se, $x + y = z + t$. Na segunda desigualdade, a igualdade ocorre se, $x = y = z = t$. Juntando as duas condições, a igualdade $A = G$ só ocorre se, e somente se, $x + y = z + t$.

Vamos provar agora o caso $n = 3$ supondo válido o caso $n = 4$. Consideremos x, y e z reais positivos, e denotamos por

$$A = \frac{x + y + z}{3}.$$

Segue que,

$$\frac{x + y + z + A}{4} = A = \frac{x + y + z}{3}$$

Logo,

$$\frac{x + y + z}{3} = \frac{x + y + z + A}{4} \geq \sqrt[4]{xyzA}$$

com a igualdade sendo válida apenas se, e somente se, $x = y = z$. Elevando ambos lados da desigualdade a 4ª potência temos,

$$\left(\frac{x + y + z}{3}\right)^4 = A^4 \geq xyzA$$

Como $A > 0$, podemos dividir ambos lados por A , obtendo a desigualdade desejada

$$A^3 \geq xyz \Leftrightarrow \frac{x + y + z}{3} \geq \sqrt[3]{xyz}.$$

Para provar que $G \geq H$, basta calcular as médias aritmética e geométrica entre $\frac{1}{x}, \frac{1}{y}$ e

$\frac{1}{z}$, e aplicar a desigualdade, $A \geq G$

$$A \geq G \Leftrightarrow \frac{\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z}}{3} \geq \sqrt[3]{\frac{1}{x} \cdot \frac{1}{y} \cdot \frac{1}{z}} \Leftrightarrow \frac{1}{H} \geq \frac{1}{G} \Leftrightarrow H \leq G.$$

Finalmente, para $Q \geq A$, considere a expressão, $(x - A)^2 + (y - A)^2 + (z - A)^2 \geq 0$ e vale para quaisquer reais x , y e z , onde a igualdade só ocorre quando $x = A$, $y = A$ e $z = A$. Logo,

$$\begin{aligned}(x - A)^2 + (y - A)^2 + (z - A)^2 &\geq 0 \\ x^2 + y^2 + z^2 - 2(x + y + z)A + 3A^2 &\geq 0\end{aligned}$$

Como $(x + y + z) = 3A$, concluímos que $Q \geq A$.

Capítulo 3

Aplicação das Medidas de Tendência Central na regra degrau de consumo

Atualmente, a regra degrau de consumo, utilizada para detectar os clientes com queda de consumo num determinado período, é obtida através de comparações de médias aritméticas de anos anteriores com a média aritmética semestral atual. Porém este tipo de análise não proporciona um acerto desejado, pois vários fatores podem contribuir para reduzir o consumo, sem indicar, necessariamente, que se trata de uma fraude.

Dentre os fatores que influenciam a queda de consumo estão os avanços tecnológicos que propiciam o uso de equipamentos mais eficientes; a redução no número de moradores da residência em análise; viagem em período de férias, entre outros casos. A única coisa que a concessionária pode identificar de concreto é que houve um comportamento de redução de consumo que pode indicar ou não para uma fraude.

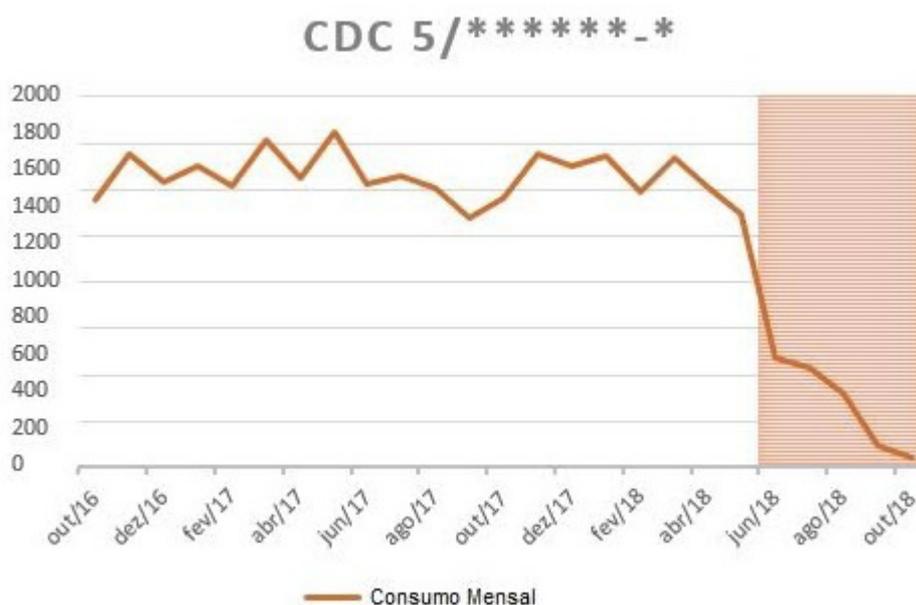
Avaliando, historicamente, as fraudes por degrau de consumo da Energisa Paraíba, observamos que 90% dos casos apresentavam uma queda no consumo igual ou superior a 25%. Com isso, todos os consumidores que apresentam uma queda de consumo maior ou igual a esse percentual são possíveis candidatos para inspeção da medição associada a sua unidade consumidora. Destacamos dois exemplos de clientes com degrau de consumo. No primeiro caso, quando da inspeção na unidade consumidora, foi constatada a irregularidade e, embora tenha sido identificado o degrau de consumo, no momento da visita para averiguação não foi constatada prática ilícita.

O código de ética e conduta do Grupo Energisa assegura a confidencialidade acerca das informações dos clientes. Dessa maneira, para resguardar o sigilo das informações dos clientes não expomos nomes ou quaisquer outros dados que possibilitem a identi-

ficação da unidade consumidora.

Exemplo 3.1. Unidade consumidora identificada com degrau de consumo em torno de 67,58% e ao ser inspecionada foi constatado irregularidade na medição. O consumo que era em torno de 1500kWh/mês antes da irregularidade passou para algo em torno dos 510kWh/mês. Para esta análise, usamos os dados a partir de outubro de 2016 até o mês de outubro de 2018, conforme apresentamos na Figura 3.1

Figura 3.1: Comportamento do histórico de consumo



Podemos observar que até abril de 2018, o cliente acima estava com um consumo no mesmo patamar dos meses anteriores, todavia, a partir de junho de 2018 é visível a queda de consumo. Nos meses onde aconteceram a irregularidade, destacamos por uma área retangular avermelhada. Agora mostramos como é feito o cálculo para identificar esses tipos de comportamento. Importante destacar que tudo isso não seria possível se não tivesse a utilização do *DataWarehouse*.

Convencionamos, ao gerar análises para identificar unidades consumidoras com degrau de consumo as seguintes informações:

1. Calcular a média semestral a contar do mês anterior ao da análise;
2. Calcular a média aritmética dos últimos 12 meses consecutivos, excluindo os meses do item 1;
3. São expurgados dessa consulta as seguintes situações: Imóveis desligados, desocupados, alteração da titularidade do imóvel, unidades consumidoras visitadas recentemente, entre outras análises.

3. Aplicação das Medidas de Tendência Central na regra degrau de consumo

Voltando para o exemplo, vamos agora observar os passos dos cálculos que identificaram esses clientes. Primeiramente, vamos calcular a média aritmética semestral, que adotamos por \bar{x}_S . Como o período da análise foi em novembro de 2018, usamos os consumos de maio a outubro de 2018.

$$\bar{x}_S = \frac{1369 + 588 + 538 + 394 + 115 + 52}{6} = \frac{3.056}{6} = 509,33 \quad (3.1)$$

Agora, vamos determinar a média aritmética dos últimos 12 meses, que chamamos de \bar{x}_{12} , logo estamos utilizando os meses compreendidos de maio de 2017 a abril de 2018, com isso, temos:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{12} &= \frac{1809 + 1530 + 1576 + 1510 + 1350 + 1457 + 1695 + 1625 + 1685 + 1492 + 1617 + 1506}{12} \\ &= \frac{18.852}{12} = 1.571 \end{aligned}$$

Finalmente, para determinar o degrau de consumo, utilizamos a relação a seguir:

$$\text{Degrau} = \frac{\bar{x}_{12} - \bar{x}_S}{\bar{x}_{12}} = \frac{1.571 - 509,33}{1.571} = \frac{1.061,67}{1.571} = 0,6758 \quad (3.2)$$

Com isso, chegamos a um degrau de 67,58%. A unidade consumidora foi encaminhada para inspeção da equipe técnica, que constatou medidor danificado, impossibilitando o registro correto do consumo de energia. Nesse caso, o medidor foi encaminhado para laudo técnico, afim de constatar se o defeito é de fábrica ou foi devido a intervenção de terceiros.

Exemplo 3.2. Unidade consumidora identificada com degrau de consumo em torno de 51,81% e ao ser inspecionada não foi detectado irregularidades. O consumo que era em torno de $630kWh/mês$ no período de abril de 2017 a março de 2018 passou para algo em torno dos $300kWh/mês$ entre os meses de abril a setembro de 2018. Os cálculos foram desenvolvidos semelhantes ao exemplo anterior. Esse caso embora não tenha resultado em algum tipo de irregularidade, mas observa-se que os meses subsequentes à inspeção, o consumo retornou ao patamar antes do degrau. Isso pode nos indicar que nessa unidade consumidora existia uma manipulação de consumo, ou seja, no momento da visita das equipes, a irregularidade foi descaracterizada. Abaixo temos o histórico de consumo dessa análise.

3. Aplicação das Medidas de Tendência Central na regra degrau de consumo

Figura 3.2: Comportamento do histórico de consumo

Ano	Mês	Data	Dias	Leitura	Irr. Apontada	Consumo	Irr. Faturamento	Grupo	Classe	Lv	Tarifa	M Móvel	Utp	H.Br	Hab.		
2019	06	04/06/2019	29	kWh: 19.207	7 - Leitura Confirmada.	674		2	6	3	6	2	4673	0	0	Não	Não
2019	05	06/05/2019	32	kWh: 18.532	7 - Leitura Confirmada.	883		2	6	3	6	2	4672	0	0	Não	Não
2019	04	04/04/2019	29	kWh: 17.648	7 - Leitura Confirmada.	804		2	6	3	6	2	4671	0	0	Não	Não
2019	03	06/03/2019	30	kWh: 16.843	7 - Leitura Confirmada.	785		2	6	3	6	2	4671	0	0	Não	Não
2019	02	04/02/2019	28	kWh: 16.057	7 - Leitura Confirmada.	518		2	6	3	6	2	4671	0	0	Não	Não
2019	01	07/01/2019	33	kWh: 15.538	7 - Leitura Confirmada.	842	179 - Consumo acima da mé	2	6	3	6	2	4670	0	0	Não	Não
2018	12	05/12/2018	29	kWh: 14.695	7 - Leitura Confirmada.	658		2	6	3	6	2	4670	0	0	Não	Não
2018	11	06/11/2018	28	kWh: 14.036	7 - Leitura Confirmada.	496		2	6	3	6	2	4670	0	0	Não	Não
2018	10	09/10/2018	29	kWh: 13.539	7 - Leitura Confirmada.	309		2	6	3	6	4	4670	0	0	Não	Não
								101 SITUAÇÃO NORMAL									
								022 INSPEÇÃO VIA SIAIF Exec 23/10/18									
2018	09	10/09/2018	31	kWh: 13.229	7 - Leitura Confirmada.	262		2	6	3	6	4	4670	0	0	Não	Não
2018	08	10/08/2018	30	kWh: 12.966	7 - Leitura Confirmada.	243	198 - Consumo abaixo da m	2	6	3	6	4	4669	0	0	Não	Não
2018	07	11/07/2018	30	kWh: 12.722	7 - Leitura Confirmada.	292		2	6	3	6	4	4669	0	0	Não	Não
2018	06	11/06/2018	32	kWh: 12.429	7 - Leitura Confirmada.	336		2	6	3	6	4	4669	0	0	Não	Não
2018	05	10/05/2018	30	kWh: 12.092	7 - Leitura Confirmada.	351		2	6	3	6	4	4668	0	0	Não	Não
2018	04	10/04/2018	32	kWh: 11.740	7 - Leitura Confirmada.	338		2	6	3	6	4	4668	0	0	Não	Não
2018	03	09/03/2018	31	kWh: 11.402	7 - Leitura Confirmada.	312	196 - Consumo abaixo da m	2	6	3	6	4	4668	0	0	Não	Não
2018	02	06/02/2018	28	kWh: 11.090	7 - Leitura Confirmada.	274	196 - Consumo abaixo da m	2	6	3	6	4	4668	0	0	Não	Não
2018	01	09/01/2018	29	kWh: 10.816	7 - Leitura Confirmada.	463		2	6	3	6	4	4668	0	0	Não	Não
2017	12	11/12/2017	32	kWh: 10.353	7 - Leitura Confirmada.	938		2	6	3	6	4	4668	0	0	Não	Não
2017	11	09/11/2017	31	kWh: 9.415		734		2	6	3	6	4	4667	0	0	Não	Não
2017	10	09/10/2017	28	kWh: 8.681		573	26 - Conta Refaturada	2	6	3	6	4	4666	0	0	Não	Não
2017	09	11/09/2017	32	kWh: 8.108		748		2	6	3	6	4	4666	0	0	Não	Não
2017	08	10/08/2017	31	kWh: 7.360		542		2	6	3	6	4	4664	0	0	Não	Não
2017	07	10/07/2017	33	kWh: 6.818	7 - Leitura Confirmada.	711		2	6	3	6	4	4664	0	0	Não	Não
2017	06	07/06/2017	29	kWh: 6.107	7 - Leitura Confirmada.	682		2	6	3	6	4	4664	0	0	Não	Não
2017	05	09/05/2017	33	kWh: 5.425	7 - Leitura Confirmada.	884		2	6	3	6	4	4664	0	0	Não	Não
2017	04	06/04/2017	28	kWh: 4.541	7 - Leitura Confirmada.	701		2	6	3	6	4	4663	0	0	Não	Não
2017	03	09/03/2017	31	kWh: 3.840	7 - Leitura Confirmada.	892	179 - Consumo acima da mé	2	6	3	6	4	4662	0	0	Não	Não
2017	02	06/02/2017	28	kWh: 2.948	7 - Leitura Confirmada.	687		2	6	3	6	4	4661	0	0	Não	Não
2017	01	09/01/2017	31	kWh: 2.261	7 - Leitura Confirmada.	1.013	179 - Consumo acima da mé	2	6	3	6	4	4661	0	0	Não	Não

Observamos que o degrau de consumo iniciou entre os meses de janeiro e fevereiro de 2018, sendo a unidade inspecionada em outubro do mesmo ano, porém não localizada irregularidades, porém nos meses após a intervenção o consumo triplicou.

3.1 Resultados do aprimoramento da regra degrau de consumo

Vamos expor a partir de agora os resultados obtidos com a nova modelagem da Regra de Degrau de Consumo. Anteriormente, conforme foi visto, para identificar um cliente com degrau de consumo, bastava comparar médias aritméticas de um período recente (6 meses) com anos anteriores. A partir deste estudo, modificamos a metodologia para detectar os clientes para inspeção. De acordo com o foi abordado em Medidas de Tendência Central e Dispersão, para amostras grandes temos a média aritmética como a melhor estimativa do valor verdadeiro e a mediana para amostras reduzidas.

3. Aplicação das Medidas de Tendência Central na regra degrau de consumo

Como o cálculo do degrau é elaborado através de comparações entre dois grupos de dados, vamos determinar a média aritmética referente a 36 meses, excluindo dessa amostra os 6 meses mais recente, pois para esse conjunto adotamos a mediana.

O experimento dessa nova forma de calcular o degrau de consumo na Energisa Paraíba, teve início em Setembro de 2018, com o seu término em Maio de 2019. Foram inspecionadas nesse período 1224 unidades consumidoras, sendo detectada 265 irregularidades, além disso, houve uma recuperação de consumo de 677, $1MWh$, esse montante daria para abastecer 5642 unidades residências durante 1 mês. A recuperação da receita nesse período foi mais de $R\$ 476 Mil$, sendo repassado ao Estado algo em torno de $R\$ 167 Mil$. Vamos apresentar dois casos bem sucedidos, utilizando no cálculo do degrau de consumo a média aritmética para um período longo e, para período curto vamos adotar a mediana.

Exemplo 3.3. Unidade consumidora, na qual denotamos de cliente A, foi identificada com degrau de consumo em torno de 62% e ao ser inspecionada, constatamos um procedimento irregular no medidor, com ligação invertida, ou seja, a leitura estava retroagindo. O consumo, antes da irregularidade, tinha uma média aritmética de 4886 $kWh/mês$ no período de Outubro de 2017 a Setembro de 2018, em seguida, passou para algo em torno de 2095 $kWh/mês$ entre os meses de Outubro de 2018 a Março de 2019, conforme podemos observar na Figura 3.3.

Figura 3.3: Histórico de Consumo do Cliente A

Cliente A			
Mês	Consumo (KWh)	Medida	Cálculo
out/17	5205	Média Aritmética	4913
nov/17	5500		
dez/17	5886		
jan/18	6739		
fev/18	4499		
mar/18	4464		
abr/18	4187		
mai/18	4525		
jun/18	4290		
jul/18	4664		
ago/18	4595		
set/18	4401		
out/18	3149	Mediana	1864
nov/18	2601		
dez/18	1659		
jan/19	1600		
fev/19	1491		
mar/19	2068		

Adotando a Mediana Semestral por Md_S , vamos determinar o degrau de consumo expresso pelo cálculo a seguir:

$$\text{Degrau} = \frac{\bar{x}_{12} - Md_S}{\bar{x}_{12}} = \frac{4886 - 1864}{4886} = \frac{3022}{4886} = 0,6185 \quad (3.3)$$

3. Aplicação das Medidas de Tendência Central na regra degrau de consumo

Portanto, temos um degrau de consumo igual a 61,85% e foi possível recuperar 25 MWh, o que corresponde a R\$ 22 mil, sendo retornado para o Estado em forma de ICMS, quase R\$ 7 mil, conforme podemos observar na Figura 3.4 abaixo:

Figura 3.4: Recuperação de Consumo do Cliente A

The screenshot displays a complex form for calculating electricity consumption recovery. Key sections include:

- Top Section:** Fields for CDC, Protocolo, Período Não de Fim, Projeto, TO, Situação TO, Carga Inst., Média (Pla - Fpta), and Consumo Estimado.
- Recurso Section:** Fields for Recurso, Origem, Situação, Resultado, and Determinação.
- Parâmetros p/ Cálculo Section:** Includes Critério Cálculo, Grupo de Cálculo, Início da Irreg., Período a Recuperar, Referência, and Data.
- Cálculo Section:** Contains multiple tables for 'Artigo: 130', 'Devido', 'Tarifas Aplicadas', 'Líquido (R\$)', and 'Subsídio / Impostos'. Each table has columns for 'Ponta' and 'F. Ponta'.
- Total (R\$) Section:** A summary row showing 'Líquido', 'Impostos', 'Justo Adm.', 'Corr. Monet.', 'Outras Taxas', and a final total value.
- Indicadores Section:** A row of checkboxes for various tax and regulatory indicators.
- Observações/Justificativas Section:** A text area for providing details about the calculation.

Fonte: Energisa Paraíba

Na Figura 3.4, observamos que no item 1, informa a ocorrência ou irregularidade encontrada no ato da visita; No item 2, corresponde quanto foi recuperado de energia elétrica não medida e, no item 3, é a representação, em reais, do que foi desviado. O valor em reais de impostos destinado ao Estado está indicado no item 4 e por fim, o item 5, que corresponde ao período no qual o consumo foi medido de forma irregular.

Exemplo 3.4. Unidade consumidora, na qual denotamos de Cliente B, foi identificada com Degrau de Consumo com 100% e ao ser inspecionada, foi constatado desvio de energia. Antes da irregularidade, a média aritmética dessa unidade era de 1893 kWh/mês no período de Outubro de 2017 a Setembro de 2018, em seguida, o medidor não registrou mais consumo, ficando igual a zero entre os meses de Novembro de 2018 a Março de 2019, conforme podemos observar na Figura 3.5.

3. Aplicação das Medidas de Tendência Central na regra degrau de consumo

Figura 3.5: Histórico de Consumo do Cliente B

Cliente B			
Mês	Consumo (KWh)	Medida	Cálculo
out/17	2507	Média Aritmética	1893
nov/17	1590		
dez/17	2132		
jan/18	2109		
fev/18	2094		
mar/18	2006		
abr/18	1977		
mai/18	2076		
jun/18	2259		
jul/18	2165		
ago/18	1683		
set/18	114		
out/18	429	Mediana	0
nov/18	0		
dez/18	0		
jan/19	0		
fev/19	0		
mar/19	0		

Vamos determinar o degrau de consumo expresso pelo cálculo a seguir:

$$\text{Degrau} = \frac{\bar{x}_{12} - Md_S}{\bar{x}_{12}} = \frac{1893 - 0}{1893} = \frac{1893}{1893} = 1,00 \quad (3.4)$$

Portanto, temos um degrau de consumo igual a 100% e foi possível recuperar 18 *MWh*, o que corresponde a *R\$ 16 mil*, sendo retornado para o Estado em forma de ICMS, quase *R\$ 5 mil* reais, conforme podemos observar na Figura 3.6 abaixo:

Figura 3.6: Recuperação de Consumo do Cliente B

The screenshot shows a software interface for calculating electricity consumption recovery. The interface is divided into several sections:

- Top Section:** Contains fields for CDC, Projeto, TO, Situação TO, Carga Inst. (Pta - Fpta), Média (Pta - Fpta), Consumo Estimado (Pta - Fpta), Carga Desv. (Pta - Fpta), Ocorrência, Aplicação TO, and Grp Let.
- Parâmetros de Cálculo:** Includes Criterio Cálculo, Grupo de Cálculo, %Custo Adm, % Erro Medição, Fator Carga, Fator Dem, and Data.
- Cálculo:** A table with columns for Faturado, Devido, Consumo, Referência de Consumo, and Faturado / Medido. Each column has sub-columns for Ponta and F Ponta. Values are shown for kWh, kW, FER, and FDR.
- Devido:** A table with columns for Ponta and F Ponta. Values are shown for kWh, kW, FER, and FDR.
- Tarifas Aplicadas:** A table with columns for Ponta and F Ponta. Values are shown for kWh, kW, FER, and FDR.
- Líquido (R\$):** A table with columns for Ponta and F Ponta. Values are shown for kWh, kW, FER, and FDR.
- Subsídio / Impostos:** A table with columns for Base, Alíquota, and ICMS. Values are shown for Base, Alíquota, and ICMS.
- Total (R\$):** A table with columns for Líquido, Impostos, Custo Adm, Corr. Monet, and Outras Taxas. Values are shown for Líquido, Impostos, and Total.
- Indicadores:** A table with columns for ICMS si Subsídio, Isento ICMS, Isento PIS/COFINS, and Isento TUSD BC ICMS. Values are shown for ICMS si Subsídio, Isento ICMS, Isento PIS/COFINS, and Isento TUSD BC ICMS.
- Observações/Justificativas:** A text area containing the text "Identificado o início da irregularidade em 08/2018, recuperado 8 meses."

Fonte: Energisa Paraíba

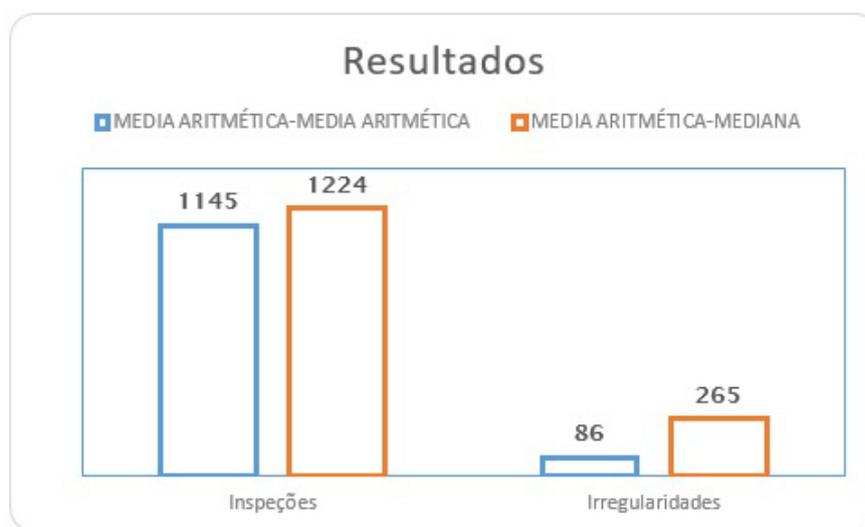
Para fazermos uma análise de comparação justa, foi levantado a quantidade de inspeções, irregularidades e energia recuperada na modelagem antes da alteração, na

3. Aplicação das Medidas de Tendência Central na regra degrau de consumo

qual comparava média aritmética com média aritmética, no período de setembro de 2017 a maio de 2018.

No gráfico abaixo, temos a comparação entre as duas metodologias de seleção de clientes que apresentam degrau de consumo. A barra azul representa o resultado das análises que comparavam médias aritméticas para dois períodos distintos, já a barra laranja representa a nova modelagem, ou seja, compara média aritmética e mediana.

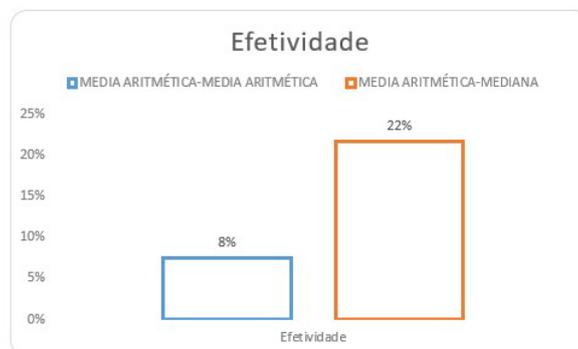
Figura 3.7: Quantidade de Inspeções e Irregularidades



Acervo Energisa Paraíba

Dividindo a quantidade de irregularidades pela quantidade de inspeções, obtemos a efetividade. Podemos observar que os ajustes propostos nesse trabalho, elevou a efetividade de 8% para 22% e um aumento de quase 290% de assertividade.

Figura 3.8: Efetividade



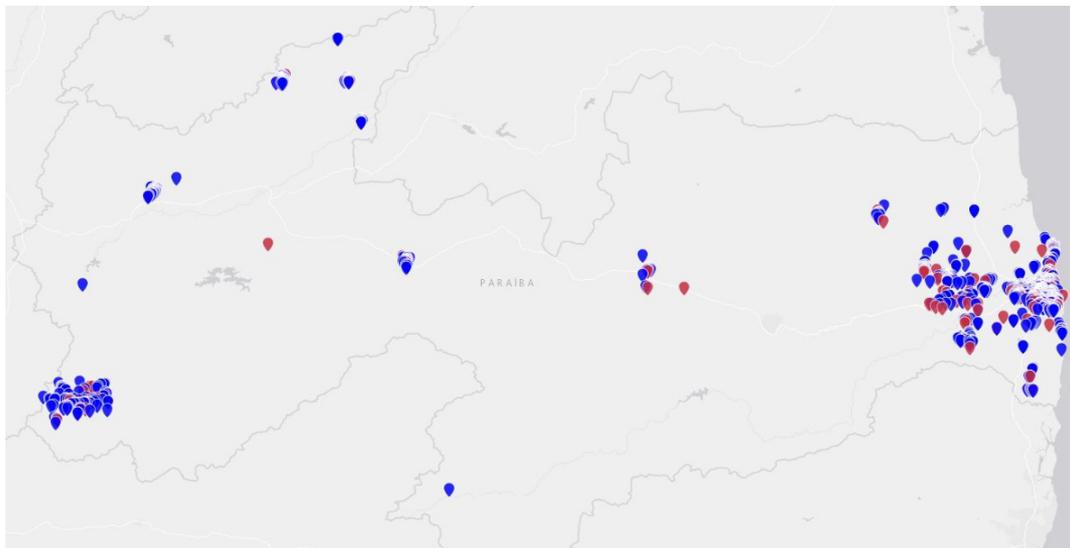
Acervo Energisa Paraíba

Para as equipes de inspeção ganhar em produtividade, as análises foram direcionadas para áreas concentradas, de tal sorte que o deslocamento seja mínimo. No mapa da Paraíba, conforme Figura 3.9, podemos observar grandes áreas concentradas das

3. Aplicação das Medidas de Tendência Central na regra degrau de consumo

visitas, onde o ícone azul representa as unidades consumidoras que tiveram o resultado normal da inspeção e o ícone vermelho representam as unidades consumidoras que tiveram como resultado da inspeção procedimento irregular ou desvio.

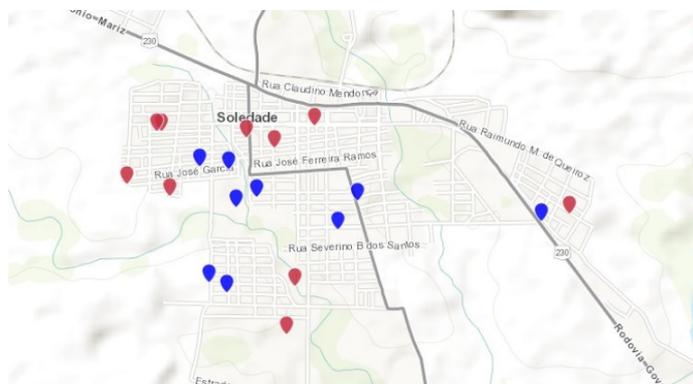
Figura 3.9: Direcionamento para Inspeção no Estado da Paraíba



Fonte: Acervo Energisa Paraíba.¹ (2019)

O melhor resultado obtido na nova modelagem da regra de degrau ocorreu na cidade de Soledade localizada a 186 quilômetros da capital João Pessoa, e a 54 quilômetros de Campina Grande, está situada no Cariri paraibano. Das 19 indicações para visita técnica, tivemos 10 irregularidades confirmadas. Podemos observar esse fato na Figura 3.10. Usando essa metodologia nesta cidade atingimos uma efetividade de 53%.

Figura 3.10: Direcionamento para Inspeção em Soledade/PB



Fonte: Acervo Energisa Paraíba.² (2019)

Vale resaltar que todos os casos bem sucedidos, onde foi constatada a irregularidade aplicando a metodologia Média Aritmética-Mediana, também se encaixam na metodologia Média Aritmética-Média Aritmética. No entanto, podemos constatar no quadro

abaixo que essa última não apresenta bom índice de assertividade:

Tabela 3.1: Resultados das metodologias

Metodologia	Inspecionados	Indício	Fraude	Normal
Média Aritmética-Média Aritmética	1145	201	86	858
Média Aritmética-Mediana	1224	470	265	489

O quadro acima compara as duas metodologias de cálculo do degrau de consumo, utilizando as medidas de tendência central, sendo na primeira linha a forma tradicional, já utilizada antes deste estudo, que convençionamos a chamar de modelo 1, que compara média aritmética com média aritmética em um determinado período, e na segunda linha, o modelo 2, que é a proposta deste trabalho, que compara média aritmética com mediana. O período de observação das inspeções foram iguais para os dois modelos, conforme já citado anteriormente.

No modelo 1, houve 1145 inspeções, onde 201 casos, embora tenham encontrado vertígios de manipulação, não foi caracterizado o furto, para essas ocorrências chamamos de Indícios ou manipulação e 86 visitas confirmou a prática ilícita de desvio de energia, todavia, 75% das inspeções foram encerradas com resultado normal.

No modelo 2, tivemos 1224 unidades consumidoras inspecionadas, com 470 delas com indício de fraude, confirmados 265 casos de desvio de energia e 489 resultando em normal, que representa 40% do total das unidades visitadas, onde concluímos que o modelo 2 é mais assertivo. A recuperação da receita no modelo 1 foi em torno de *R\$162Mil*, enquanto que o modelo 2 recuperou em trono de *R\$600Mil*. Na Figura 3.11, apresentamos alguns exemplos de unidades visitadas sem apresentar irregularidades, ou seja, estavam todas normais.

Como vimos no Capítulo 1, o custo de uma inspeção que resulta em normal é de *R\$ 84,00*. Com isso, o modelo 1 representou um custo de *R\$ 72 Mil*, enquanto o modelo 2 foi de *R\$ 41 Mil*, ou seja, a metodologia Média Aritmética-Média Aritmética teve uma despesa de *R\$ 31 Mil* a mais que a metodologia Média Aritmética-Mediana.

3. Aplicação das Medidas de Tendência Central na regra degrau de consumo

Figura 3.11: Indicações sem sucesso

Cliente	ago/17	set/17	out/17	nov/17	dez/17	jan/18	fev/18	mar/18	...	out/18	nov/18	dez/18	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	\bar{x}	\bar{x}_S	Degrau ¹	Md	Degrau ²
C1	0	0	352	417	100	0	0	0	...	54	58	53	48	65	65	74	80	61	25%	62	23%
C2	132	114	126	143	132	141	129	156	...	116	121	109	128	105	103	0	126	94	25%	107	15%
C3	37	30	16	8	3	0	0	0	...	14	13	12	14	13	14	9	17	13	27%	13	24%
C4	29	45	50	50	48	47	50	44	...	54	51	26	76	49	6	0	46	35	25%	38	19%
C5	141	146	146	206	210	170	172	26	...	229	133	101	147	88	140	43	147	109	26%	117	20%
C6	89	123	125	141	136	69	50	181	...	165	161	146	96	2	65	136	136	101	26%	116	15%
C7	1.699	2.091	2.802	2.597	2.574	2.32	2.321	2.98	...	3.058	3.072	3.182	2.565	2.869	0	0	2.629	1.948	26%	2.717	-3%
C8	11	166	267	262	0	0	331	153	...	185	132	107	107	75	99	85	135	101	25%	103	24%
C9	148	129	181	233	265	294	288	179	...	101	108	87	117	107	114	109	142	107	25%	109	23%

1- Comparando Média Aritmética com Média Aritmética.
2- Comparando Média Aritmética com Mediana.

Fonte: Acervo Energisa Paraíba.³ (2019)

A tabela Indicações sem sucesso apresenta o histórico de consumo dos clientes que, por confidencialidade, indicamos por C1 a C9. Essas unidades foram direcionadas através do modelo 1, que já falamos anteriormente. O degrau de consumo foi maior ou igual a 25%, que é o critério adotado para ser indicado à inspeção. Para esses mesmos clientes, pelo critério de cálculo adotando o modelo 2, observamos que nenhum dos casos seriam encaminhados para inspeção, pois o degrau é inferior a 25%, e com isso, comprovamos que a mediana é uma medida resistente a valores extremos e sendo ideal para a detecção da medida central de um período curto, em contrapartida, temos que a média aritmética não é uma medida recomendada para o cálculo da média semestral, pois ao ocorrer valores atípicos, percebemos o impacto consideravelmente no resultado do degrau de consumo.

Observamos que as teorias encontradas na Matemática, especificamente nos assuntos de Medidas de Tendência Central e Dispersão, contribuíram para o aperfeiçoamento da Regra de Degrau de Consumo e, conseqüentemente, no combate as perdas comerciais. Desta forma, temos uma proposta daqui para frente de analisar os casos não bem sucedidos, onde a visita resultou em normal, e com isso, compreender melhor essa situação. Outra linha de estudo, no qual já foi iniciada, porém não houve tempo hábil para expor, estão relacionadas as indicações de unidades consumidoras através do desvio padrão em relação a média aritmética.

Finalizando, temos que destacar, as contribuições que este estudo proporcionou para a minimização das perdas comerciais, utilizando os assuntos de Média, Mediana e Moda, que são conteúdos abordados nos ensinios Fundamental e Médio, vindo a contribuir no aprimoramento da regra Degrau de Consumo e na assertividade das indicações.

Apêndice A

Resultados Básicos

Para tornar a leitura

Proposição A.1. Seja h uma distribuição temperada no ... Então,

- (i) Existe uma única distribuição temperada satisfazendo (??).
- (ii) Se
- (iii) Se $h \geq 0$, com $h \neq 0$, no sentido das distribuições, ...

Demonstração. Ver [?], Proposição XX

□

Referências Bibliográficas

- [1] ANJOS, TALITA ALVES DOS, A História da Eletricidade. Acesso em 26 de julho de 2019 e disponível em <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/a-historia-eletricidade.htm>
- [2] CCEE, CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, Fontes. Acesso em 26 de julho de 2019 e disponível em <https://www.ccee.org.br>
- [3] ABRADÉE, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA, Glossário de termos do Setor Elétrico, Publicado em 2018. Acesso em 01 de junho de 2019 e disponível em <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/glossario-do-setor-eletrico/>
- [4] ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, REN2014, RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 418, Publicado em 23 de Novembro de 2010. Acesso em 01 de junho de 2019 e disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010418.pdf>
- [5] EFEITO JOULE, TUDO O QUE VOCÊ PRECISA SABER, Definição do efeito Joule, Publicado em abril de 2008. Acesso em 02 de junho de 2019 e disponível em <https://www.efeitojoule.com/2008/04/efeito-joule.html>
- [6] SIGNIFICADO DE DATA WAREHOUSE, O que é Data Warehouse. Acesso em 02 de junho de 2019 e disponível em <https://www.meusdicionarios.com.br/data-warehouse>
- [7] ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA 2017, Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017, Publicado em 2017. Acesso em 20 de junho de 2019 e disponível em <http://epe.gov.br>
- [8] TRIOLA, MÁRIO F., Introdução à Estatística, Rio de Janeiro: LTC, 12ª Ed., 2017.
- [9] PENIN, CARLOS ALEXANDRE DE SOUSA, Combate, Prevenção e Otimização das Perdas Comerciais de Energia Elétrica Acesso em 20/06/2019 e disponível em

- <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-14082008-092248/publico/DoctorPenin11.pdf>, São Paulo:, 2017.
- [10] VIEIRA, SÔNIA, Estatística Básica, São Paulo: Cengage Learning 1ª Ed., 2017.
- [11] ROCHA, SÉRGIO, Estatística Geral e Aplicada para Cursos de Engenharia, São Paulo: Atlas 2ª Ed., 2018.
- [12] ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Perdas de energia, Publicado em 25 de novembro de 2015. Última atualização em 10 de outubro de 2018. Acesso em 01 de abril de 2019 e disponível em <http://www.aneel.gov.br/metodologia-distribuicao/assetpublisher/e2INtBH4EC4e/content/perdas/654800>
- [13] BRASIL, DECRETO-LEI 2.848, DE 07 DE DEZEMBRO DE 1940, Código Penal, Rio de Janeiro: Diário Oficial da União, 31 dez. 1940.
- [14] LIMA, ARTUR, Operação prende 11 pessoas em flagrante por furto de energia elétrica, no Sertão da Paraíba. G1 Paraíba, Paraíba, 14 de maio de 2019. Publicado em 14 de maio de 2019. Acesso em 12 de julho de 2019 e disponível em <https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2019/05/14/operacao-prende-pessoas-em-flagrante-por-furto-de-energia-eletrica-no-sertao-da-pb.ghtml>
- [15] TRIOLA, MÁRIO F., Introdução à Estatística, Rio de Janeiro: LTC, 7ª Ed., 1999.
- [16] ENERGISAPB, ENERGISA PARAÍBA, Furto de Energia, Publicado em 11 de Janeiro de 2018. Acesso em 25 de abril de 2019 e disponível em <https://www.energisa.com.br/paginas/noticia.aspx?nid=1798>
- [17] ARAÚJO, BRENO SERRANO, Métodos de Inteligência Computacional para Detecção de Fraudes de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2017.
- [18] TORRES, CARLOS MAGNO A., Física Ciências e Tecnologia, São Paulo: Moderna 2ª Ed., 2010.
- [19] FILHO, AURÉLIO GONÇALVES., Física, volume único ensino médio., São Paulo: Scipione 1ª Ed., 2008.
- [20] FONTE, ANDRÉ COSTA., Médias, desigualdades e problemas de otimização., Recife: UFRPE , 2013.