

Yasmin Dutra Lopes

**Análise do Desempenho do Controle da Frequência em Sistemas de
Energia Elétrica da América do Sul**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Departamento de
Engenharia Elétrica e Eletrônica da
Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Ildemar Cassana
Decker, D.Sc.

Coorientador: Prof. Antonio Felipe da
Cunha de Aquino, D. Sc.

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lopes, Yasmin Dutra
Análise do Desempenho do Controle da Frequência
em Sistemas de Energia Elétrica da América do Sul /
Yasmin Dutra Lopes ; orientador, Ildemar Cassana
Decker, coorientador, Antonio Felipe da Cunha de
Aquino, 2019.
97 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Elétrica,
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Desempenho da
Frequência. 3. Indicadores de Desempenho. 4.
Integração Eletro-Energética Sul Americana. 5.
Matriz Energética. I. Decker, Ildemar Cassana . II.
Aquino, Antonio Felipe da Cunha de . III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Elétrica. IV. Título.

Yasmin Dutra Lopes

**Análise do Desempenho do Controle da Frequência em Sistemas de
Energia Elétrica da América do Sul**

Este Trabalho foi julgado adequado como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado, em
sua forma final, pela Banca Examinadora

Florianópolis, 12 de Julho de 2019.



Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, em
exercício

Banca Examinadora:



Prof. Ildemar Cassana Decker, D. Sc.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Antonio Felipe da Cunha de Aquino, D. Sc.
Coorientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Diego Issicaba, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina



Eng. Eletric. Valmor Zimmer, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha
família e aos meus melhores amigos.

AGRADECIMENTOS

Á minha família por todo o apoio incondicional, carinho, incentivo e exemplos dados ao longo desses anos.

Aos meus amigos que estiveram comigo nessa jornada de estudos, conversas e discussões e que vão continuar presentes em minha vida.

Aos professores Ildemar C. Decker e Antonio F. da C. de Aquino pela orientação, apoio e compreensão ao longo da realização deste trabalho.

Á Universidade Federal de Santa Catarina, aos professores e aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica (EEL). A excelência destes profissionais garantiu a minha completa formação acadêmica.

Aos membros da banca Diego Issicaba e Valmor Zimmer, por aceitarem participar da avaliação deste trabalho.

A todos vocês meus sinceros agradecimentos.

Success consists of going from failure to failure
without loss of enthusiasm.
(Winston Churchill)

RESUMO

Atualmente, por diversas razões países ao redor do mundo buscam melhorar e diversificar suas matrizes energéticas, incluindo cada vez mais fontes de energia renovável e interconectando suas redes elétricas, em busca das possíveis complementariedades existentes entre elas. Para se alcançar tal objetivo é preciso primeiro ter conhecimento das características atuais das suas respectivas matrizes energéticas e dos recursos existentes em seu território. No caso do Brasil, um dos projetos desenvolvidos para os estudos dos sistemas de energia elétrica (SEE), é o MedFasee, que busca o desenvolvimento, a difusão e a aplicação de tecnologias de sincrofasores no estudo do desempenho dos SEE. Uma das possíveis maneiras de se fazer esta análise é por meio de indicadores do desempenho da frequência. Neste trabalho realiza-se um estudo do desempenho do controle da frequência em países específicos da América do Sul, a saber: Brasil, Chile e Argentina. A análise é realizada por meio de indicadores do desempenho da frequência definidos por cada país, que são calculados com o auxílio dos dados de sincrofasores medidos em baixa tensão. São apresentados resultados de desempenho, calculados para os SEE do Brasil, Chile e Argentina, com os indicadores definidos para o sistema brasileiro (critério 1). São ainda comparados os resultados do desempenho da frequência do Chile e da Argentina, quando calculados com o critério 1 e com os indicadores próprios empregados naqueles países.

Palavras-chave: Desempenho da Frequência, Indicadores de Desempenho, Integração Eletro-Energética Sul Americana, Matriz Energética.

ABSTRACT

Nowadays, for various reasons, countries around the world are seeking to improve and diversify their energy source, including increasing renewable energy sources and interconnecting their electrical networks, in search of possible complementarities between them. In order to achieve this objective, first of all, it is necessary to know about the current characteristics of their respective energy grid and about the resources already in their territory. In Brazil, one of the projects developed for the study of electrical energy systems, is called MedFasee, which seeks the development, diffusion and application of synchrophasor technologies in the study of electrical energy systems performance. One of the possible ways to do this analysis is through the frequency performance indicators. This work study the frequency control performance in specific countries of South America, Brazil, Chile and Argentina. The analysis is performed using frequency performance indicators defined by each country, which are calculated using synchrophasor data measured at low voltage. Performance results are presented, calculated for the Brazilian, Chilean and Argentine SEE, with the indicators defined for the Brazilian system (criterion 1). The results of the frequency performance of Chile and Argentina are also compared, when calculated with criterion 1 and with the own indicators used in those countries.

Keywords: Frequency Performance, Performance Indicators, South American Electroenergetic Integration, Energy Grid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evento do dia 03/02/2018 às 09:44:55.....	69
Figura 2 – Gráfico Referente ao Indicador DFP1 para o Mês de Setembro de 2018.....	74
Figura 3 – Gráfico Referente ao Indicador DFP1 - Setembro/2018.....	76
Figura 4 – Gráfico Referente ao Indicador DFP2 – Setembro/2018	78
Figura 5 – DFP1 x DFP2 – Chile – Agregação Diária – Setembro/2018	79
Figura 6 – DFP1 x DFP2 – Chile – Setembro/2018.....	79
Figura 7 – Evento do dia 12/09/2018 às 03:50:40.....	81
Figura 8 – Gráfico Referente ao Indicador DFP1 – Setembro/2018	84
Figura 9 – Gráfico Referente ao Indicador DFP2 – Setembro/2018	86
Figura 10 – DFP1 x DFP2 – Argentina – Agregação Diária – Setembro/2018	87
Figura 11 – DFP1 x DFP2 – Argentina – Setembro/2018.....	87
Figura 12 – Evento do dia 23/09/2018 às 10:01:51.....	89
Figura 13 – DFP1 Brasil x DFP1 Portugal– Agregação Diária – Setembro/2018	90
Figura 14 – DFP1 Brasil x DFP1 Portugal – Setembro/2018.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites para avaliação do desempenho da frequência durante distúrbios	59
Tabela 2 – Valores de DFP - Agregação Diária segundo o ONS – Fevereiro/2018	65
Tabela 3 – Valores de DFP - Agregação Diária segundo o ADF – Fevereiro/2018 – Referência PMU UFSC.....	66
Tabela 4 – Valores de DFP - Agregação Mensal segundo o ONS – Fevereiro/2018	67
Tabela 5 – Valores de DFP - Agregação Mensal segundo o ADF – Fevereiro/2018	67
Tabela 6 – Valores de DFD - Agregação por Evento segundo o ONS – Fevereiro/2018	68
Tabela 7 – Valores de DFD - Agregação por Evento segundo o ADF – Fevereiro/2018 – Referência PMU UFSC.....	68
Tabela 8 – Conversão de 60 Hz para 50 Hz.....	70
Tabela 9 – Limites para avaliação do desempenho da frequência durante distúrbios – Base de 50 Hz.....	71
Tabela 10 – Resultado DFP1 - Agregação Diária – Setembro/2018 – Referência PMU UFSC.....	73
Tabela 11 – Resultado DFP1 - Agregação Mensal – Setembro/2018 – Referência PMU UFSC.....	74
Tabela 12 – Resultado DFP1 - Agregação Diária – Setembro/2018 – Referência PMU UTEM.....	75
Tabela 13 – Resultado DFP1 - Agregação Mensal – Setembro/2018 – Referência PMU UTEM.....	76
Tabela 14 – Resultado DFP2 - Agregação Diária – Setembro/2018 – Referência PMU UTEM.....	77
Tabela 15 – Resultado DFP2 - Agregação Mensal – Setembro/2018 – Referência PMU UTEM.....	78
Tabela 16 – Valores de DFD - Agregação por Evento segundo o ADF – Fevereiro/2018	80
Tabela 17 – Resultado DFP1 - Agregação Diária – Setembro/2018 – Referência PMU UNLP	83
Tabela 18 – Resultado DFP1 - Agregação Mensal – Setembro/ 2018 – Referência PMU UNLP	84
Tabela 19 – Resultado DFP2 - Agregação Diária – Setembro/2018 – Referência PMU UNLP	85
Tabela 20 – Resultado DFP2- Agregação Mensal – Setembro/2018 – Referência PMU UNLP	86

Tabela 21 – Valores de DFD - Agregação por Evento segundo ADF – Fevereiro/2018	88
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- COC – *Centro de Control de Operaciones del SADI*
CPF – *Control Primario de Frecuencia*
CSF – *Control Secundario de Frecuencia*
DFD – Desempenho da Frequência em Distúrbios
DFP – Desempenho da Frequência em Regime permanente
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
ERNC – Energia Renovável Não Convencional
GEE – Gases de Efeito Estufa
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PMU – Unidade de medição fasorial (*Phasor Measurement Unit*)
RPF – *Regulación Primaria de Frecuencia*
RSF – *Regulación Secundaria de Frecuencia*
SADI – *Sistema Argentino de Interconexión*
SEE – Sistema de Energia Elétrica
SEN – *Sistema Eléctrico Nacional*
SIC - *Sistema Interconectado Central*
SIN – Sistema Interligado Nacional
SING – *Sistema Interconectado del Norte Grande*
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UHE – Usina Hidroelétrica
UTC – Tempo Coordenado Universal (*Coordinated Universal Time*)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	PROJETO MEDFASEE BT	26
1.2	OBJETIVOS	26
1.3	ASPECTOS METODOLÓGICOS	27
1.4	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	27
2	INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA SUL AMERICANA	29
2.1	MATRIZES ENERGÉTICAS	29
2.1.1	Brasil	29
2.1.1.1	Histórico.....	30
2.1.1.2	Atualidade	32
2.1.1.3	Tendência da Matriz Energética Brasileira	33
2.1.1.3.1	<i>Oferta Interna de Energia</i>	33
2.1.1.3.2	<i>OIE X PDE 2027</i>	34
2.1.1.4	Fontes de Energia.....	34
2.1.1.4.1	<i>Energia Hídrica</i>	35
2.1.1.4.2	<i>Biocombustível</i>	36
2.1.1.4.3	<i>Energia Eólica e Solar</i>	36
2.1.1.4.4	<i>Outras Fontes de Energia</i>	36
2.1.1.5	Comentários	37
2.1.2	Chile	38
2.1.2.1	Fontes de Energia.....	38
2.1.2.1.1	<i>Carvão</i>	39
2.1.2.1.2	<i>Petróleo e Gás Natural</i>	39
2.1.2.1.3	<i>Energia Nuclear</i>	40
2.1.2.1.4	<i>Energia Hídrica</i>	40
2.1.2.1.5	<i>Energia Eólica</i>	41
2.1.2.1.6	<i>Energia Solar</i>	41

2.1.2.1.7	<i>Bioenergia</i>	42
2.1.2.1.8	<i>Energia Geotérmica</i>	42
2.1.2.1.9	<i>Energia Maremotriz</i>	43
2.1.2.2	Tendência da Matriz Energética	43
2.1.2.3	Comentários	44
2.1.3	Argentina	45
2.1.3.1	Matriz Energética Atual.....	45
2.1.3.2	Leis e Projetos.....	46
2.1.3.3	Fontes de Energia.....	47
2.1.3.3.1	<i>Carvão</i>	48
2.1.3.3.2	<i>Petróleo e Gás Natural</i>	48
2.1.3.3.3	<i>Energia Nuclear</i>	49
2.1.3.3.4	<i>Energia Hídrica</i>	50
2.1.3.3.5	<i>Energia Solar</i>	51
2.1.3.3.6	<i>Energia Eólica</i>	51
2.1.3.3.7	<i>Energia Geotérmica</i>	51
2.1.3.3.8	<i>Bioenergia</i>	51
2.1.3.4	Comentários	52
2.2	RAZÕES PARA UMA SISTEMA INTEGRADO.....	52
2.3	FREQUÊNCIA NAS INTERLIGAÇÕES.....	53
2.4	POSSÍVEIS CENÁRIOS PARA A INTEGRAÇÃO	53
2.5	COMENTÁRIOS FINAIS.....	54
3	ANÁLISE DO DESEMPENHO DA FREQUÊNCIA	57
3.1	BRASIL	58
3.1.1	Indicadores	58
3.1.1.1	DFP	58
3.1.1.2	DFD	59
3.2	CHILE.....	60
3.2.1	Indicadores	60

3.3	ARGENTINA	61
3.3.1	Indicadores	61
4	RESULTADOS.....	63
4.1	AQUISIÇÃO DE DADOS.....	63
4.2	ESTRATÉGIA PARA CÁLCULO DOS INDICADORES..	63
4.2.1	Validação do ADF	64
4.2.2	Análise de Dados	70
4.3	AMBIENTE DE EXPERIMENTAÇÃO	71
4.3.1	Brasil	72
4.3.1.1	DFP1	72
4.3.1.2	DFD.....	74
4.3.2	Chile	75
4.3.2.1	DFP1	75
4.3.2.2	DFP2	76
4.3.2.3	DFP1 x DFP2	78
4.3.2.4	DFD.....	80
4.3.3	Argentina	82
4.3.3.1	DFP1	82
4.3.3.2	DFP2	84
4.3.3.3	DFP1 x DFP2	86
4.3.3.4	DFD.....	88
4.3.4	Portugal.....	90
4.4	COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	91
5	CONCLUSÃO	93
5.1	TRABALHOS FUTUTROS	93
	REFERÊNCIAS.....	95

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o tema do aquecimento global vem protagonizando um número crescente de debates. Suas causas e consequências ganham importância num cenário globalizado. Na busca por soluções capazes de contribuir para a redução de seus efeitos, ganha destaque o aumento das emissões de dióxido de carbono causadas pelo ser humano, em especial pela queima de combustíveis fósseis. Assim, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), são organizadas iniciativas como o acordo de Paris, onde os países participantes se comprometem a reduzir suas emissões de carbono a partir do ano de 2020.

Para se alcançar esta meta, diversas propostas foram elaboradas, dentre elas há a ideia de uma alteração no setor de energia, com o apoio de projetos que promovam o uso de tecnologias limpas para gerar eletricidade e eficiência energética, em particular o uso das energias renováveis não convencionais (ERNC) como a eólica e a solar fotovoltaica.

Estudos em relação as fontes de energias renováveis apontam o grande potencial existente para o seu uso na América do Sul, entretanto, tais recursos estão espalhados por todo o território do continente, de maneira que diferentes países possuem maior ou menor potencial em diferentes tipos fontes. Esta desigualdade na divisão dos recursos naturais é um dos fatores motivadores que se levou a pensar num sistema energético integrado. Caso haja uma ação conjunta dos países sul americanos, seria possível criar uma rede elétrica integrada, para aproveitar ao máximo as riquezas naturais para a geração de energia, além de reduzir os custos de implantação de novas tecnologias, assim como os de operação e ao mesmo tempo aumentar a segurança energética dos países participantes.

Para que se consiga interligar sistemas de energia elétrica (SEE) de diferentes países é primeiro necessário que se entenda as características das suas respectivas matrizes energéticas. É também necessário compreender que uma rede elétrica desta magnitude não será algo simples de se concretizar, precisando determinar padrões compatíveis para que a integração seja possível, para que os mercados de energia e as operações de cada país consigam operar adequadamente.

Assim, algumas universidades sul-americanas começam a desenvolver estudos sobre as redes elétricas dos países. Um dos projetos sendo desenvolvidos, no Brasil, nesta área é o chamado projeto MedFasee.

1.1 PROJETO MEDFASEE

O projeto MedFasee iniciou em 2003 com uma parceria da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a empresa Reason Tecnologia e a FINEP (financiadora de estudos e projetos). Dentre seus principais objetivos está o desenvolvimento, difusão e uso acadêmico da tecnologia associada a medição sincronizada de fasores; e aplicações para o monitoramento e análises dos sistemas elétricos.

Assim, possibilita a análise dos sistemas de energia elétrica em condições de regime normal de operação e sob contingência. A fim de realizar tais funções, o MedFasee recolhe informações através das unidades de medição fasorial sincronizada (PMU, do inglês *Phasor Measurement Unit*), instaladas em diversas localidades dos países inclusos no projeto. Este equipamento permite a obtenção de medidas de fasores de tensão e corrente, convertendo esses sinais analógicos recebidos em um sinal digital. O sincronismo para a medição de fasores é feito a partir de sinais de 1 pps (pulso por segundo), fornecido pelo sistema GPS, capturados por relógios GPS específicos que os distribui de forma adequada às PMU. Com isso é possível realizar o processamento das informações recebidas, calculando os fasores de tensão e corrente, a frequência e a variação de frequência da rede elétrica.

Após o processamento dos dados, essas informações são transmitidas para um concentrador de dados fasoriais (PDC, em inglês *Phasor Data Concentrator*). Este é responsável pelo gerenciamento dos dados fasoriais enviados pelas PMU, ou seja, recebe os dados, os organiza em ordem cronológica, assim como, classifica-os quanto a qualidade e os armazena em um banco de dados para serem consultados posteriormente.

Este projeto traz novas tecnologias para o gerenciamento dos recursos disponíveis para um sistema de energia elétrica, que com o passar dos anos tornou-se cada vez mais complexo. Ele possibilita a alta precisão em medidas, elevada taxa de amostragem e sincronismo com o tempo. Nos últimos anos verifica-se uma crescente utilização de PMU ao redor do mundo, incluindo os três países da América do Sul que serão estudados neste trabalho, Brasil, Chile e Argentina.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é o estudo do desempenho do controle da frequência em países específicos da América do Sul, Brasil, Chile e Argentina.

Para isto se utilizará dados de sincrofasores medidos em baixa tensão, provenientes de equipamentos do projeto MedFasee BT Brasil e MedFasee Conosur.

1.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Na primeira etapa do presente trabalho fez-se um estudo das características principais das matrizes energéticas do Brasil, Chile e Argentina, assim como de suas complementariedades e o potencial para uma possível integração eletro-energética entre estes países. Isto foi necessário, pois a composição da matriz energética pode influenciar diretamente no desempenho da frequência do SEE.

Posteriormente, foi dada ênfase na definição e aplicação de indicadores para a avaliação do desempenho do controle da frequência e o desenvolvimento de um código computacional para calcular tais indicadores de desempenho. Os dados históricos de sincrofasores medidos em baixa tensão, utilizados nos cálculos dos indicadores, foram obtidos através do aplicativo MedPlot, desenvolvido no âmbito do projeto MedFasee.

1.4 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

O presente documento está organizado em cinco capítulos, conforme descrito a seguir. Neste primeiro capítulo foi apresentada uma breve introdução e contextualização do assunto abordado, assim como delineados os objetivos principais do trabalho e as estratégias metodológicas utilizadas.

No capítulo dois é feita uma breve revisão sobre as características principais das matrizes energéticas de cada um dos países estudados neste trabalho, Brasil, Chile e Argentina. Ainda neste capítulo, apresenta-se uma visão geral do que seria a integração eletro energética de países sul americanos, possíveis problemas nas interligações, causadas por diferenças nas frequências nominais dos países, e possíveis cenários para um futuro eletro-energético integrado na América do Sul.

No terceiro capítulo é discutido brevemente sobre a análise do desempenho da frequência e apresentados os indicadores de desempenho da frequência empregados em cada país estudado.

No capítulo quatro, apresentam-se a metodologia aplicada para a aquisição dos dados, a análise de desempenho propriamente dito e os resultados obtidos.

Por fim, no quinto capítulo, apresentam-se as conclusões dos estudos realizados no decorrer do desenvolvimento deste trabalho.

2 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA SUL AMERICANA

Neste capítulo apresenta-se uma síntese de um estudo relacionado as matrizes energéticas da América do Sul, especificamente do Brasil, Chile e da Argentina. A escolha destes país deu-se pela existência de medição sincronizada de fasores em baixa tensão neles.

2.1 MATRIZES ENERGÉTICAS

Nesta seção apresenta-se uma breve síntese das características de interesse para o trabalho, das matrizes energética do Brasil, Chile e Argentina.

Uma das características em comum destes países é que em prol do aumento da segurança e da redução do risco de interrupções no fornecimento da energia, estes países, estão procurando diversificar cada vez mais as suas matrizes energéticas. E para alcançar tal objetivo é preciso começar a utilizar de forma eficiente as fontes de energia à disposição, sem desperdício de recursos renováveis nacionais.

2.1.1 Brasil

Nas últimas quatro décadas, as matrizes energéticas do Brasil e de outros países do mundo apresentaram significativas alterações estruturais, realizadas através de grandes investimentos que deram partida ao processo de diversificação, autossuficiência e segurança energética.

Durante sua história energética, o Brasil sempre esteve muito vinculado à dependência externa com relação ao petróleo e a produção interna de energia primária vinda, quase inteiramente, da queima de lenha. Assim, com a busca pela segurança energética, o Brasil aposta em políticas públicas associadas a investimentos privados e na grande potencialidade de geração de energia que o país possui, para diversificar as fontes de energia em sua matriz energética

O Brasil possui uma grande disponibilidade de fontes renováveis para a composição de sua matriz energética e historicamente tem se dado ênfase a exploração da geração de energia através de usinas hidrelétricas (UHE), característica que pode ser explicada pelo fato de que o território brasileiro conta com um dos maiores potenciais hidroelétricos do mundo (com um nível de aproveitamento já expressivo). Além disso, o país ainda possui potencialidades em outras fontes renováveis de energia, tais como a energia eólica, solar e os biocombustíveis.

2.1.1.1 Histórico

A visão de diversificação energética fez com que o Brasil se tornasse um dos maiores produtores de energia limpa do mundo, entretanto, isto não correu da noite para o dia. Essa história começou décadas atrás, quando o Brasil ainda priorizava a energia provinda do petróleo. Atualmente, o país já é consciente de que dispõe de uma grande diversidade de recursos para geração de energia elétrica, incluindo as fontes renováveis não hídricas, como a eólica, solar e biomassa

O início das mudanças na matriz energética brasileira ocorreu durante a década de 1970, que foi marcada pelo acelerado desenvolvimento da economia do país, notadamente no setor industrial. Com isso, os volumes de energia importada durante este período cresceram, em especial as que utilizavam o petróleo como fonte, isto porque a produção interna de energia não conseguiu acompanhar o desenvolvimento econômico nacional.

Dessa forma, no início desta década, o Brasil era um dos maiores importadores de óleo entre os países em desenvolvimento. Porém, as duas crises mundiais do petróleo, em 1973 e 1979, causaram instabilidades de preço e dúvidas quanto ao suprimento internacional do insumo. Fatos esses que obrigaram o governo brasileiro a mudar radicalmente sua política externa, seguindo em direção a uma maior aproximação dos países do Oriente médio de modo a garantir o fornecimento deste produto. Ao mesmo tempo, a Petrobrás obtinha tecnologia e realizava investimentos para o desenvolvimento da extração de petróleo nacional para suprir a demanda interna, através de buscas de novos poços e exploração de poços de maior dificuldade, que agora se tornava viável.

Nesse período também havia investimentos que eram dedicados a outros setores da matriz energética nacional, de modo a diminuir a dependência de petróleo no qual o Brasil se encontrava.

Um exemplo da adoção de políticas públicas específicas em reação às crises do petróleo, foi a inserção, a partir da metade da década de 1970, dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, visando à redução da dependência nacional de petróleo. Buscando uma alternativa energética que não dependesse de tratados internacionais, foi encontrado o etanol da cana-de-açúcar, a expressiva entrada desta fonte energética na

matriz brasileira, houve uma complementariedade suficiente para diminuir a dependência nacional dos combustíveis fósseis.

Na segunda crise do petróleo, o Brasil já havia iniciado políticas de diversificação da estrutura energética do país, com criação de programas e investimentos importantes em outras fontes e avanços no setor de petróleo doméstico. Neste período foram construídas usinas hidrelétricas e nucleares, e lançado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) em 1975, com uma segunda etapa em 1979, assim como foram realizados estudos para novas fontes de energia.

Com a busca para fortalecer sua matriz energética, diminuir custos e aumentar a segurança energética, o Brasil observou que na região da América do Sul, havia um alto potencial de complementariedade energética, o que levou a investimentos em projetos binacionais de interconexão e geração energética. Um exemplo de tais acordos que se iniciaram nos anos 70 é a compra de gás natural boliviano.

Ao final dos anos 70, outro grande acontecimento internacional gerou dúvidas sobre a segurança e viabilidade de fontes alternativas ao petróleo e seus derivados. Em março de 1979, houve o acidente nuclear de Three Mile Island, nos EUA, o que gerou muita insegurança para a utilização de energia nuclear. Alguns anos após o acidente norte-americano, em 1986 aconteceu outro acidente nuclear, de proporções muito maiores que o anterior, o acidente de Chernobyl, Ucrânia, ocasionou a paralisação de programas nucleares em todo o mundo.

A década de 1980 foi marcada por uma baixa nos preços internacionais do barril de petróleo, o que se opõe a década anterior. No período seguinte, dos anos 90, ressalta-se a guerra do Golfo, que afetou novamente o mercado energético internacional. Foi nesta década que teve um aumento expressivo de produção de energia elétrica por meio de usinas termelétricas, assim como a ampliação da produção energética com base no gás natural. No entanto, os efeitos diretos do início da importação de gás natural boliviano e do aumento do número de termelétricas somente foi sentido na matriz energética brasileira a partir dos anos 2000.

No início dos anos 2000 o Brasil se viu motivado a melhorar a segurança no abastecimento de energia da população, reduzindo ainda mais a dependência do petróleo. Um dos motivos para tal incentivo, foi a crise energética de 2001, onde o país sofreu com um choque de fornecimento de energia elétrica, resultando num racionamento forçado

de energia elétrica. Com isso, percebeu-se a urgência de se retomar os investimentos em geração e transmissão de energia.

Atrelado ao crescimento econômico mundial, o baixo valor do dólar e instabilidades nos maiores países produtores, o preço do barril do petróleo disparou outra vez e o país teve outro indicativo de que precisava voltar a direcionar seus investimentos para alternativas diretas e indiretas ao petróleo. O desenvolvimento de novas tecnologias permitiu a retomada de programas anteriores abandonados, assim investindo novamente em fontes de energia renováveis não convencionais.

2.1.1.2 Atualidade

Como pode ser visto em [17], no Brasil, a máxima participação do petróleo e seus derivados na matriz energética ocorreu em 1979, quando atingiu 50,4%, entretanto, isto vem reduzindo com o passar dos anos. Entre os anos de 1973 e 2017 houve uma redução de 9,4 pontos percentuais no máximo valor atingido da participação do petróleo, o que sugere que o Brasil, seguindo uma tendência mundial, conseguiu desenvolver esforços significativos de substituição de energéticos fósseis, o que acarretou num aumento da geração hídrica e do uso de derivados da cana, como o etanol carburante e bagaço para fins térmicos.

O Brasil é um dos países referência no âmbito energético, seja no setor petrolífero (com o desenvolvimento de tecnologias de extração de petróleo em água profundas), como no desenvolvimento de novas tecnologias (etanol da cana-de-açúcar, por exemplo) e o aproveitamento do potencial hídrico do país.

Como consequência das políticas públicas adotadas pelo Governo Federal, associadas às condições climáticas nacionais, a diversidade na participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira é destaque por manter-se há anos acima da média mundial. Segundo [17], a participação de fontes de energia renováveis na matriz energética brasileira permanece razoavelmente estável, com valores superiores a 40%, enquanto a média mundial gira em torno de 14%. Manter estes patamares é um grande desafio para o setor energético brasileiro, sendo este um dos maiores percentuais de energias renováveis do mundo. Para isso, nos últimos anos, houve a expansão de parques

instalados de usinas eólicas, solares e termelétricas a biomassa, assim como a construção de novas hidrelétricas.

2.1.1.3 Tendência da Matriz Energética Brasileira

A tendência da matriz energética no Brasil é estudada e analisada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e publicada no Plano Nacional de Energia (PNE), assim como no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE). O primeiro tem como objetivo o planejamento a longo prazo do setor energético do país, orientando tendência e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas, atualmente há o PNE 2030 e está sendo desenvolvido o PNE 2050.

O PDE possui um menor horizonte de estudo e tem o intuito de informar toda a sociedade das possíveis previsões do setor. Ele funciona como indicação e não determinação, das perspectivas de expansão futura do setor de energia do ponto de vista do Governo para os próximos dez anos. Assim, podemos ter uma visão dos benefícios do planejamento em termos de aumento de confiabilidade, redução de custos de produção e impactos ambientais.

Para poder avaliar a tendência da evolução da matriz energética, é primeiro necessário saber qual a previsão do consumo de energia do país e quais as possibilidades (fontes de energia) disponíveis para suprir tal demanda, assim como o comportamento de cada fonte ao longo do dia e ano.

2.1.1.3.1 *Oferta Interna de Energia*

Nos últimos 20 anos, a Oferta Interna de Energia (OIE) apresentou um crescimento expressivo, fortemente correlacionado com o aumento do Produto Interno Bruto (PIB). Pode-se observar em [17], que em 2017, no Brasil, a OIE ficou em 293,5 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), mostrando um crescimento de 1,8% em relação a 2016, e equivalente a 2,12% da energia mundial. A OIE mostra um aumento expressivo se comparado ao PIB, que foi de 1,0% em 2017, este fato foi devido ao consumo industrial de energia, que teve uma alta de 2,6%.

O agregado denominado “Outras Renováveis” é equivalente a sigla ERNC, utilizada neste trabalho, incluindo a energia provinda de fonte eólica, solar, biodiesel, lixívia, biogás, resíduos de madeira, casca de arroz, capim elefante, entre outros. Este tipo de fonte de energia teve a maior alta na OIE no ano de 2017, 9,3%, sustentado pela alta geração eólica e de produção de biodiesel. O gás natural encontra-se como a segunda maior alta, de 6,7%, em razão do alto incremento na geração elétrica. Já a geração hidrelétrica, mostra um recuo de 3,4%, este desempenho anulou a performance positiva das demais fontes renováveis quando se compara a OIE de 2016. Assim a participação de fontes renováveis teve um pequeno recuo de 43,5% em 2016 para 42,9%, em 2017, de acordo com o BEN (balanço energético nacional) 2018, [18], mesmo com essa redução, o Brasil ainda se encontra muito à frente da média mundial, que é de 13,7%.

2.1.1.3.2 OIE X PDE 2027

O consumo final energético é determinado para que haja a evolução da oferta interna de energia. Na OIE, as energias renováveis exibem um crescimento médio anual de 3,5%, com destaque para as classificadas como ‘outras renováveis’, com crescimento de 6,1% médio ao ano. Assim, estima-se o aumento do percentual de energias renováveis na matriz energética nacional para o patamar de 47% no ano de 2027.

Contrário a isso, tem-se a redução da participação do petróleo e seus derivados na OIE, dos 36% obtidos em 2017 para 31% em 2027. Mesmo com o crescimento da produção de petróleo bruto, há a perspectiva de substituição da gasolina por etanol e do óleo combustível e GLP por gás natural, causando a diminuição do uso desta fonte no período estudado pela PDE 2027.

Segundo o PDE 2027, [19], o consumo final de energia irá crescer 2,3% entre os anos de 2017 e 2027, já a intensidade energética reduz no período, graças a eficiência energética e a mudança na participação dos setores no consumo de energia.

2.1.1.4 Fontes de Energia

Comparado ao século passado, o Brasil dispõe de uma diversidade de recursos muito maior para a expansão da matriz

energética, a qual abrange hidrelétricas de grande, médio e pequeno porte, termelétricas a carvão, gás natural, óleo combustível ou diesel, biomassa (bagaço de cana, florestal, biogás, etc.), eólicas, solares fotovoltaicas, termossolares, nucleares, entre outras.

Essa diversidade é muito importante quando levamos em conta as mudanças climáticas acontecendo na atualidade, que podem trazer alterações na distribuição dos recursos energéticos no território nacional. As dimensões do Brasil tornam a diversidade de cenários climatológicos relevante, pois as mudanças climáticas podem afetar de forma bastante distinta as fontes energéticas utilizadas no país. Por exemplo, pode modificar a distribuição e disponibilidade hídrica, sendo assim, necessário estudar cenários para o aumento de períodos secos e de chuva concentrada.

2.1.1.4.1 Energia Hídrica

A energia provida das usinas hidrelétricas, é historicamente, a principal fonte de geração de energia do sistema elétrico brasileiro, representando 65% da capacidade instalada de seu parque gerador, e 80% da geração elétrica total em 2017, [18]. Além de ser uma fonte de geração renovável, ela também é economicamente competitiva e possui uma flexibilidade operativa, característica importante em resposta às flutuações entre oferta e demanda.

Visando expandir a matriz energética com esta fonte, tem-se um estudo, aprimorado no PDE 2027, para inserção de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Interligado Nacional (SIN). Nos dados deste mesmo documento, percebe-se uma leve redução da participação de UHE na matriz, porém, é importante destacar que apesar deste fato o sistema mantém a predominância de fontes renováveis de energia.

A redução da participação das UHE é uma tendência, devido a previsão de valores cada vez mais baixos de armazenamento ao final de cada ano, indicando que a geração termelétrica deverá ajudar a manter os níveis dos reservatórios e prevenir os sistemas contra eventuais atrasos nas estações chuvosas. Porém, apesar desta redução, as UHE ainda representam um vetor importante e possuem planos de ampliação de oferta de energia elétrica no SIN.

2.1.1.4.2 *Biocombustível*

Outro ramo que está sendo aprimorado no Brasil é o desenvolvimento interno de biocombustíveis, o que implica no crescimento da participação desses na matriz energética do país, promovendo o aumento da diversidade de fontes e, assim, da segurança energética do SIN.

A importância ambiental deste tipo de fonte, está ligada à melhoria da qualidade do ar, principalmente nas grandes cidades, contribuindo para a diminuição de incidência de doenças pulmonares e para a redução das emissões de GEE. Além dos programas já mencionados para o desenvolvimento da bioenergia, também se destaca o chamado *RenovaBio*, que conforme indicado em [14], assumiu o compromisso de aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para 18% até 2030.

2.1.1.4.3 *Energia Eólica e Solar*

Fontes de energia como a eólica e a solar são mais problemáticas, pois variam ao longo do dia (o vento muda sua intensidade e o sol só aparece durante o dia). Quando as matérias primas dessas fontes estão ausentes, seria necessário utilizar outro tipo de fonte de energia, a não ser que se opte por bancos de bateria para armazenar energia em grande quantidade, porém, esta opção ainda é muito cara e sem horizonte para quando será viável.

A expansão da capacidade instalada de energia eólica é um grande aliado na redução das emissões de GEE, entretanto, é muito suscetível às mudanças climáticas. No Brasil, elas constituem um recurso renovável de excepcional aproveitamento energético, especialmente no Nordeste do país, e a tendência é que seu crescimento aumente substancialmente nos próximos anos. De acordo com a previsão de [19], para que no final de 2027 a participação da geração eólica deve alcançar até 10%.

2.1.1.4.4 *Outras Fontes de Energia*

Tendo em vista a necessidade de oferta de energia firme ao longo dos próximos anos, a expansão da energia nuclear, também surge

como opção, uma vez que se trata de uma termelétrica com baixíssimo nível de emissão de GEE. Porém, o início de desenvolvimento do primeiro projeto após Angra 3 deverá ocorrer após 2027, devido a prazos de estudos e obtenção de licenças.

Atualmente, na matriz energética brasileira a capacidade instalada de usinas termelétricas a gás natural chega a 8%, tendendo a aumentar ao longo dos próximos anos, considerando, especialmente, o potencial do gás natural nacional, como a reserva do pré-sal.

2.1.1.5 Comentários

Com tantas fontes renováveis de energia em sua matriz energética, o Brasil possui, em comparação a outros países, pequenas emissões de GEE por unidade de energia consumida. Fato este que ajuda o Brasil a atingir a meta declarada durante o Acordo de Paris, que entrou em vigor em 2016. Nele, o país submeteu sua iNDC (contribuição nacionalmente determinada) às Nações Unidas, tornando-se, assim, o primeiro país dito em desenvolvimento a comprometer-se com metas absolutas de redução de emissões de GEE. O compromisso adquirido, é de que em 2025 as emissões de GEE do país sejam 37% inferiores ao verificado em 2005.

Até agora, o país tem caminhado em convergência ao cumprimento das metas assumidas, com previsão de até mesmo superar as metas estabelecida para a composição da matriz energética, em especial a participação de fontes ERNC, com projeção de participação de 35%, a participação de bioenergia estimada em 22% e a participação total de energias renováveis de 48%.

Apesar de tais perspectivas, manter uma elevada participação de fontes renováveis na matriz energética nacional é um dos grandes desafios do setor energético. Buscando vencer tal desafio, o país procura sempre aprimorar sua matriz energética, uma das soluções encontradas foi o aumento de importação e exportação de energia entre seus vizinhos, o que mostra o potencial de complementariedade energética existente entre as regiões da América do Sul.

2.1.2 Chile

Ao contrário do que se pretende alcançar, atualmente, a matriz energética chilena é composta principalmente por combustíveis fósseis, sendo boa parte desses, importada. Este cenário persiste apesar do país possuir um grande potencial para fontes de energia renováveis não convencionais e poucas reservas de petróleo e seus derivados em território nacional.

De acordo com os balanços nacionais de energia (BNE) de 2011 e 2017, o Chile importou aproximadamente 68% e 62%, respectivamente, de sua energia primária, o que faz com que ele seja um país extremamente suscetível a volatilidade dos preços desses insumos nos mercados internacionais.

Outro infortúnio em se importar insumos para a geração de energia, são as possíveis crises nos países dos quais se é dependente. Por exemplo, a crise do gás natural na Argentina, ocorrida em 2006 e 2007, mostra os riscos da dependência energética. Neste período os envios de gás natural provindos do país vizinho foram cortados quase que inteira e arbitrariamente, o que resultou em um aumento nos custos de energia no território chileno, pois, para que não faltasse eletricidade à população e indústrias, foi necessário utilizar alternativas mais caras.

Apesar da alta participação de petróleo bruto e gás natural na matriz energética do Chile, pode-se perceber (ao se comparar os valores do BNE de 2011 com os de 2017) que isto vem diminuindo, dando mais espaço a outras fontes de energia como a hídrica, a biomassa, o biogás, as usinas solares e as eólicas.

Juntamente a isso, na linha de melhorar a segurança energética do país, o Chile interconectou, no final de 2017, os dois principais sistemas transmissores de energia nacionais: SING (do espanhol, *Sistema Interconectado del Norte Grande*) e o SIC (do espanhol, *Sistema Interconectado Central*); que trabalhavam isoladamente até então. A partir deste ponto, o sistema de energia elétrica do Chile passa a ser chamado de SEN, sigla em espanhol para *Sistema Eléctrico Nacional*.

2.1.2.1 Fontes de Energia

Como mencionado, o território chileno possui um alto potencial para fontes de energia renováveis, entretanto a exploração expressiva

destas somente se iniciou recentemente. A seguir é descrito brevemente algumas das potencialidades deste território.

2.1.2.1.1 *Carvão*

A primeira fonte de energia no Chile, ainda no período colonial, foi o carvão, entretanto, a exploração em grande escala de depósitos desta fonte começou somente em 1852, com a Companhia Carbonífera de Lota, na região, hoje, conhecida como Bío Bío.

Em meados do século XX, globalmente, assim como no Chile, o uso do carvão como fonte de energia começou a diminuir, sendo gradualmente substituído pelo petróleo. Até que nos anos de 1990, as últimas minas de grande operação de mineração de carvão em território chileno foram fechadas.

Atualmente, embora o Chile utilize o carvão em sua matriz energética e tenha produção nacional, apenas 10% são extraídos no seu território, os outros 90% são importados de países como a Austrália, Canadá, Nova Zelândia, Colômbia, Estados Unidos, Indonésia e Suíça.

2.1.2.1.2 *Petróleo e Gás Natural*

No século XIX já havia evidências de jazidas de petróleo na região de Magallanes, porém, foi somente em 1928 que se iniciaram os estudos na região para se confirmar tais suspeitas e apenas em 1945, que a exploração começou.

Posteriormente, pesquisas também foram realizadas na Zona Central do país (Lebu, Ilha de Mocha e Valdivia), entretanto, o resultado foi de que nestas áreas os produtos encontrados seriam de baixo volume e alto custo de exploração, dessa forma, sendo comercialmente inviável. Com isso, atualmente no Chile, a única região que extrai petróleo e gás natural é Magallanes.

A produção em larga escala desses dois insumos, levou à criação da ENAP, sigla em espanhol para a *Empresa Nacional del Petróleo*, em 1950, uma empresa estatal e a única no país que produz e refina hidrocarbonetos.

Nas primeiras décadas de exploração, o petróleo e o gás natural encontrados no país eram suficientes para suprir a demanda nacional, contudo, com o desenvolvimento econômico do país, ao mesmo tempo

em que a produção nacional destes insumos entrava em declínio, a quantidade extraída nacionalmente destas fontes se mostrou insuficiente, forçando o Chile a começar a importação destes recursos.

2.1.2.1.3 *Energia Nuclear*

Para o desenvolvimento da energia nuclear, na década de 1960, foi formada a Comissão Nacional de Energia Nuclear, mantida como uma agência governamental na *Comisión Chilena de Energía Nuclear* (CCHEN), órgão responsável pelos estudos nucleares e suas aplicações pacíficas.

No final da década de 1970, houve os primeiros estudos para implementar a produção de eletricidade com essa fonte de energia, porém concluiu-se que a perspectiva econômica da energia nuclear não alcançou os benefícios das outras fontes alternativas. Assim, apesar de diversos avanços em áreas como a medicina e agricultura, a energia nuclear no Chile não possuía projetos para a sua utilização na área energética até o início deste século.

Em 2007, com uma perspectiva mais atualizada, novas avaliações foram realizadas e concluíram sobre a viabilidade da energia nuclear em um período de 10 a 15 anos. Incluindo a preparação de pessoal técnico e profissional, medidas de segurança no projeto e construção, bem como a operação de uma usina nuclear e uma solução para o problema dos resíduos.

2.1.2.1.4 *Energia Hídrica*

A fonte de energia renovável há mais tempo sendo utilizada no Chile, é a provinda da água. O potencial de geração nacional de energia hídrica é alto, porém mal distribuído, sendo a região sul a mais rica em recursos hidráulicos, em contrapartida a demanda de energia é maior no centro do país.

A região norte chilena, possui muitos meses no ano sem chuvas, dificultando o uso dessa energia, assim como a ocorrência de longos períodos de seca. Apesar disso, no meio do deserto do Atacama, foi construída umas das primeiras usinas hidrelétricas do Chile.

No centro norte, os rios possuem volumes mais torrenciais e fluxos permanentes, sendo uma das áreas mais importantes para a

obtenção dessa fonte de energia desde a primeira metade do século XX, principalmente devido ao clima, que garante menor variação ao longo do ano e com períodos de seca não tão frequentes.

Já a zona centro sul, é uma região com fornecimento de água assegurado por ter clima úmido, onde praticamente chove o ano todo, com mínimos períodos de seca. Apesar do grande potencial para essa fonte de energia e água abundante, esta região não possui grandes usinas hidrelétricas. Contudo, nas proximidades de Lota, na região de Bio Bio, em 1897, foi inaugurada a primeira usina de geração hidrelétrica do Chile (e segunda na América do Sul) chamada de Chivilingo, que ficou em operação até 1976.

Por último a região sul, que possui um grande potencial hidráulico para geração de energia por rios de alto volume. Nos anos 1980 foi estudado a instalação de usinas nos rios da região, porém os custos totais fizeram esses trabalhos serem adiados.

2.1.2.1.5 Energia Eólica

Os locais mais adequados para o uso da energia eólica, é a região litorânea, que possui relevo apropriado para isto, assim como ventos com direção constante ao longo do ano.

O primeiro parque eólico industrial do Chile foi instalado em Alto Baguales, na região de Aysén, em novembro de 2001. Mais para frente, em novembro de 2007, entrou em operação o primeiro parque eólico aderido ao SIC, localizado na cidade de Canela, região de Coquimbo. A partir desse ano, aumentou o número de instalações de parques eólicos, principalmente na costa norte.

2.1.2.1.6 Energia Solar

A energia solar, que até a primeira década do século XXI não possuía grandes instalações no país. Apesar disso, já havia um grande número de painéis solares fotovoltaicos instalados em casas urbanas e rurais em todo território chileno, além de serem usados para operar sistemas de irrigação de comunidades agrícolas nas áreas central e norte do país. A partir da segunda década desse mesmo século, houve um aumento substancial de projetos para aproveitar a energia limpa e renovável do sol.

Atualmente, considera-se que um dos lugares do mundo com maior potencial para a utilização de energia solar é o deserto do Atacama, devido as características climáticas e de relevo presentes em grande parte da região norte do Chile, esta zona apresenta um alto número de dias claros (sem nuvens) no ano. Várias fábricas estão operando nas regiões de Tarapacá, Antofagasta e Atacama, para aproveitar as oportunidades vindas dessa fonte de energia na região.

Um marco importante para a área foi a inauguração em 2014 do parque *Amanecer Solar CAP*, no meio do deserto do Atacama, este é um dos mais importantes parques solares fotovoltaicos da América Latina. Há, também, importantes projetos promovidos para alcançar um amplo uso dessa energia limpa, sendo um dos que merece destaque, é o *Calama Solar 3*, por ter sido a primeira usina fotovoltaica industrial do país.

2.1.2.1.7 *Bioenergia*

Mais uma fonte de energia renovável utilizada no Chile é a biomassa, que por muitos anos teve como fonte as florestas na zona central do país. Industrias de produção de celulose, infraestrutura e lenha, foram as primeiras a iniciar estudos e usar a biomassa como fonte de energia. Em região metropolitana, o aterro sanitário em Tiltill, é outro exemplo de uso de energia da captura de biogás gerado a partir de matéria orgânica.

As usinas que operam com biomassa no Chile geralmente estão localizadas nas proximidades dos pontos geradores de resíduos a base de celulose, atualmente, existem 18 centrais que utilizam biomassa, a maioria delas na região de Bío Bío.

2.1.2.1.8 *Energia Geotérmica*

A energia geotérmica é outra fonte que possui um alto potencial no Chile, devido a intensa atividade geológica na região. Há muitos estudos para alcançar seu uso como energia calórica e elétrica, que começam a dar os primeiros resultados.

O oceano Pacífico é cercado por uma faixa de alta atividade geológica, caracterizada por sua forte sismicidade e numerosos vulcões em atividade. O Chile, estando nessa região, é um dos países do mundo

com maior número de vulcões em relação a sua superfície, além de possuir banhos termais, fumarolas e gêiseres. Em sua história está registrado o maior terremoto mundial, do qual se tem conhecimento, em 1960 na área de Valdivia, de magnitude 9,5.

Dos diversos campos de gêiseres em seu território, o mais conhecido é o *El Tatio*, sendo esse o primeiro lugar onde se estudou a viabilidade de aproveitamento da energia geotérmica. Essa exploração data do início do século XX, na região de Antofagasta e embora várias explorações subseqüentes tenham obtido conclusões positivas sobre a viabilidade de aproveitar esta fonte de energia, seu uso não se materializou no país até o século XXI, contudo, ainda não há usinas em operação.

2.1.2.1.9 *Energia Maremotriz*

Além da energia geotérmica, outra fonte de energia renovável com grande potencial no Chile e que ainda não estão sendo utilizada, é a marítima.

A extensa costa chilena recebe fortes correntes marítimas, ocasionadas pelos ventos da região Antártica, o que oferece condição para gerar energia provinda das marés, em especial na zona centro sul, que, devido aos fortes ventos, tem alto potencial para usar a força das ondas. Nessa região, um dos lugares considerado como o melhor do país para a exploração da energia do movimento da água do mar é o Canal de Chacao, onde o fluxo das marés e vazantes podem atingir 20 km/h.

Para o Chile, a energia provinda do mar, tanto das marés quanto das ondas, é um potencial futuro significativo, no entanto, ainda existem obstáculos científicos e tecnológicos que impossibilitam a utilização desta fonte de energia numa aplicação em larga escala.

2.1.2.2 Tendência da Matriz Energética

A utilização eficiente das fontes de energia disponíveis em território chileno, impacta diretamente no crescimento da economia, assim como no cuidado com o meio ambiente e na qualidade de vida da população. Com isso em mente o *Ministerio de Energía* do Chile lançou a iniciativa 'Energia 2050', [21], para tornar o setor energético do país mais seguro, inclusivo, economicamente competitivo e sustentável. Este

projeto foi apresentado em 2014, como um processo para a construção de uma política energética chilena, mostrando a trajetória que o país pretende traçar nos próximos anos através de ações governamentais para desenvolvimento nessa área.

A ‘Energia 2050’ prega a qualidade e segurança energética através do planejamento para situações de risco e emergências energéticas para assegurar a confiabilidade do sistema energético. Assim como as interligações eletro-energéticas internacionais de energia possuem um papel fundamental nessa situação, uma vez que permite uma maior flexibilidade e segurança aos sistemas de energia interconectados. O objetivo a longo prazo do Chile é de ter um sistema energético conectado com outros países da América do Sul, mais especificamente, estar conectado com outras nações no ano de 2035.

Já para uma energia ambientalmente sustentável, a política estabelecida procura promover fontes renováveis de energia na matriz energética, assim como diretrizes para prevenir impactos ambientais. A ‘Energia 2050’ prevê uma diminuição de, pelo menos, 30% de emissões de gases de efeito estufa em comparação a 2007, até 2030.

Atualmente há um consenso geral e científico da mudança climática global, com fatos indicando que são causados, principalmente pelas atividades que produzem GEE. No Chile, antecipa-se esses impactos nas condições hidrológicas do país, afetando as usinas hidrelétricas.

2.1.2.3 Comentários

O Chile nos últimos anos vem se empenhando em diversificar a matriz energética nacional, incluindo fontes de energia renováveis e principalmente tentando aproveitar ao máximo todas as possibilidades naturais que seu país tem a oferecer. Se protegendo assim de variações internacionais do preço do barril de petróleo e de crises energéticas e econômicas de países parceiros de importação de insumos para a composição de sua matriz.

Como observado em seções anteriores, o Chile tem vocação para diversas fontes de energia renovável, o que levou o país a criar objetivos específicos para a política do setor energético nacional. Tal objetivo visa a implementação de ações para que as fontes de energia

renováveis constituam 60% da matriz energética nacional no ano de 2035 e pelo menos 70% em 2050. Outro incentivo para os investimentos iniciais em ERNC, é que se espera que até 2050 os custos dessas fontes diminuam significativamente: 25% a 65% para as usinas solares fotovoltaicas; de 10% a 23% para as eólicas e 18% para as usinas geotérmicas.

2.1.3 Argentina

Nos últimos anos, de acordo com a tendência mundial, a Argentina voltou, desde a crise energética de 1988, com os incentivos ao desenvolvimento de fontes de energias renováveis, visando a substituição gradual dos combustíveis fósseis. Entretanto, apesar dos benefícios destas fontes de energia, como a redução das emissões de gás de efeito estufa e a sustentabilidade econômica, as propostas para modificar a matriz energética colidem com a realidade de importar energia a baixo custo.

O conforto do sistema suportado pelos combustíveis fósseis conspira contra o desafio de desenvolver energias sustentáveis e limpas, contudo o declínio deste tipo de fonte é inevitável, fazendo com que a dependência deles seja o desafio a ser superado.

2.1.3.1 Matriz Energética Atual

A distribuição atual de fontes de energia na matriz energética argentina é composta por um espectro semelhante ao da década de 1970. Há 49 anos que a Argentina possui uma dependência de aproximadamente 85% de combustíveis fósseis, sendo que a única mudança significativa neste período foi a substituição progressiva do petróleo pelo gás natural. No primeiro BEN (Balanço Energético Nacional), realizado em 1960, a porcentagem de petróleo e gás natural na matriz energética do país era de 71,46% e 7,21% respectivamente; já nos BEN posteriores, percebe-se a troca gradual de um hidrocarboneto pelo outro. Em 1980 essa relação passou a ser, respectivamente, de 64,19% e 23,17%; em 2000 chegou a 38,07% e 50,74% e atualmente encontra-se em 31,19% e 53,99%.

Além do desenvolvimento de problemas ambientais, uma matriz energética tão dependente de combustíveis fósseis e, atualmente, sem auto abastecimento, é condicionada aos preços internacionais do barril de petróleo, o que dificulta as previsões orçamentárias nacionais,

gerando muita incerteza na viabilidade de projetos de médio e longo prazo.

Apesar de pouco expressiva, existem outras fontes de energia que possuem uma fatia na matriz energética da Argentina, essas sendo: a biomassa, 6,27%; a energia hidrelétrica, 4,3%; a nuclear, 2,17%; carvão, 1,34%; eólica, 0,22%; solar, 0,002%. Apesar da pequena participação destas fontes, analisando os BEN, percebe-se um crescimento delas nas últimas décadas, assim como uma tendência destas porcentagens aumentarem mais ainda no futuro, uma vez que fontes como as energias eólica e solar estão somente no começo de sua exploração.

2.1.3.2 Leis e Projetos

Como dito anteriormente, na Argentina o gás natural e o petróleo são as fontes de energia predominantes na matriz energética, a dependência tão alta do país dessas únicas duas fontes é preocupante, principalmente levando em consideração que, atualmente, a nação é um importador de gás natural por conta do declínio na exploração nacional desde 2004, da mesma maneira que a produção de petróleo entrou em declínio em 1998. Estes fatores fizeram com que a Argentina nas últimas duas décadas deixasse de ter energia em abundância, exportada e barata, para ter energia escassa, importada e cara.

Com a redução nas explorações de combustíveis fósseis em território nacional e com a ausência de investimentos em exploração, o país se vê forçado a substituir as fontes de energia que compõem sua matriz energética. Assim começa a análise e desenvolvimento de alternativas para a ampliação da matriz energética nacional, como a exploração e desenvolvimento de ERNC.

Uma das medidas tomadas pelo governo para melhorar a segurança energética do país, foi a confecção do Plano Nacional de Energia (PEN), em 2004, visando a diversificação da matriz energética. Este plano impulsionou a energia nuclear, além de promover energias renováveis a partir de projetos de instalação de parques eólicos e solares, assim como a expansão e/ou construção de novas usinas hidrelétricas.

Mais para frente, em 2006, a Argentina criou a lei 26.190/06, com o objetivo de promover o uso de fontes de energia renovável, concedendo as energias renováveis o status de interesse nacional e

afirmando que até 2017 a nação deveria garantir pelo menos 8% da matriz energética de fontes renováveis. Contudo, tais projetos não foram bem-sucedidos, assim, em 2013, o senador da província de Chubut, apresentou um projeto para reformar a lei, buscando impulsionar basicamente os mesmos objetivos não cumpridos do ano de 2006.

Em 2009, a ENARSA (do espanhol, *Energia Argentina S.A.*) lançou o Programa GENREN (*Generación de Energía Eléctrica a partir de Fuentes Renovables*), com o objetivo de incentivar a instalação de energias renováveis no país. Alinhado com leis nacionais, sendo a última a entrar em vigor a de nº 27.191, “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”, que prevê a incorporação das energias renováveis (principalmente eólica e solar) para o ano de 2025, de 20% do consumo de energia elétrica do país.

No início de 2010, a ENARSA também aprovou 32 iniciativas para instalar quase 900 MW de geração “verde e renovável”, buscando e conseguindo investimentos privados para colocar em prática estes projetos. Dentre eles, 85% correspondiam a energia eólica e o restante seria energia solar, projetos de termelétrica com biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. A partir destas iniciativas foram construídas três usinas de energia solar, uma usina hidrelétrica e três parques eólicos, cuja geração total permite fornecer eletricidade a uma cidade de aproximadamente 60 mil habitantes.

2.1.3.3 Fontes de Energia

Atualmente, apesar do alto grau de combustíveis fósseis na matriz energética argentina, existem diversas possibilidades de fontes de ERNC em seu território. Assim, com as tecnologias já desenvolvidas para a exploração deste tipo de fonte, alinhado com as características geográficas do país, como o bom grau de insolação em grande parte de seu território, ventos constantes em sua costa e praticamente toda a Patagônia, é possível para a Argentina começar diversificação de sua matriz energética.

2.1.3.3.1 Carvão

Apesar de baixa a contribuição atual do carvão na matriz energética argentina, este sempre esteve presente, por exemplo, em 1910, devido ao aumento da demanda de eletricidade, influenciado por luminárias e motores elétricos, houve a inauguração da usina termelétrica Dock Sud, na província de Buenos Aires, que operava a base de carvão.

Apesar de sua longa história na matriz energética do país, o carvão nacional não é o tipo mais eficiente de fonte de energia encontrado em território argentino, como pode-se notar no caso da usina de San Nicolás, que entrou em serviço em 1957, que precisava importar o carvão que seria misturado ao carvão nacional, pois esse possuía um baixo poder calorífico.

2.1.3.3.2 Petróleo e Gás Natural

Apesar de não ser tão antiga quanto o carvão, a principal fonte energética da Argentina, até a década de 1970, era o petróleo. Contudo com o aumento mundial do preço do barril de petróleo, causado pelas crises do petróleo na década de 1970, junto com a descoberta do depósito de gás natural de Loma La Lata (1977), na província de Neuquén, o uso de gás natural no país foi impulsionado passando a ser cada vez mais importante que o petróleo.

Na década de 1980, o país descobriu outras importantes jazidas de gás natural, aumentando ainda mais o uso dele. Entretanto, desde então, não foi descoberto mais depósitos significantes desta fonte, levando a Argentina a importar cada vez mais gás natural.

Foi somente em 2011, que a YPF (*Yacimientos Petrolíferos Fiscales*) confirmou a existência de uma grande reserva de petróleo e gás natural, a formação chamada de '*Vaca Muerta*', que possibilitaria a recuperação da autossuficiência energética argentina. Entretanto, a extração dos combustíveis fósseis nessa região não é fácil, exigindo um custo muito alto, além de tecnologias específicas que não são produzidas no país.

Em 2012, A YPF lançou um Plano Estratégico, onde era previsto investimentos ao longo de cinco anos para desenvolver o campo de '*Vaca Muerta*'. No entanto, o sonho da autossuficiência foi ameaçado com a inesperada mudança de tendência do preço do barril de petróleo,

que devido ao aumento da produção nos Estado Unidos e nos países da OPEP, caiu pela metade.

2.1.3.3.3 Energia Nuclear

Durante a Segunda Guerra Mundial, a tecnologia para o uso de energia nuclear foi desenvolvida para fins de guerra, todavia, após o fim desta, começou-se a usar os estudos desenvolvidos desse tipo de energia para fins pacíficos, como a geração de eletricidade em usinas nucleares.

Na década de 1970, as crises internacionais do petróleo que resultaram no aumento considerável do preço do petróleo bruto, engatilharam, mundialmente, o maior uso da energia nuclear. Foi nessa década que a Argentina finalizou a construção da primeira usina nuclear da América Latina, a Atucha I, em 1974.

Ainda nos anos 70, em 1979, houve o ambicioso Plano Nuclear Argentino, aprovado pelo Decreto nº 302/79, que projetou a construção de quatro usinas nucleares, sendo que a primeira obra deveria ser terminada em 1987 e a última em 1997. Porém, a construção da primeira usina, denominada Atucha II, que começou em 1980 e deveria ter uma potência instalada maior que Atucha I, não foi concluída no prazo, sendo colocada em operação somente em 2014.

Na década seguinte, a energia nuclear se consolidava no setor energético, em especial com o início da operação da usina nuclear Embalse, em 1983. Esta cumpriu seu primeiro ciclo de operação de 30 anos, e em 2015 foi fechada para a troca de seus geradores, voltando a operar no início de 2019 para mais um ciclo de 30 anos.

Apesar do Plano Nuclear Argentino e do apoio para a iniciação dos projetos, das usinas Atucha I e Embalse em operação na década de 1980, o programa nuclear do país começou a declinar a partir de 1984. Vinte anos depois, com ajuda do PEN, o Plano de Reativação Nuclear, em 2006, surgiu para desenvolver novos projetos de curto e médio prazo. Entre outros objetivos, o plano incluía a conclusão das usinas do Plano Nuclear Argentino; o comissionamento da Central Nuclear Atucha II; a extensão de vida da usina Embalse; assim como o projeto de implementação de Carem-25, com um novo tipo de reator nuclear, que seria menor que os convencionais utilizados; e a reativação de projetos de enriquecimento de urânio no país.

2.1.3.3.4 *Energia Hídrica*

A energia hídrica é a fonte de energia renovável mais antiga na Argentina e apesar da sua baixa expressão na matriz energética, o país possui um grande potencial hidráulico, que permite aumentar o uso desse tipo de energia no futuro.

Foi no ano de 1897, na província de Córdoba, que a primeira usina hidrelétrica da Argentina entrou em operação, a Casa Bamba, que ficou em atividade até o ano de 1964.

Vendo a potencialidade do país para esta fonte de energia, o governo argentino percebeu a necessidade da criação de entidades para gerenciar este fonte. Assim, em 1947, foi criado o órgão denominado de '*Agua y Energía Eléctrica*' (AyEE), com o objetivo de produzir, distribuir e comercializar energia elétrica, assim como o estudo e construção de obras de engenharia hidráulica, esta instituição ficou em atividade até 1992.

Mesmo com esta associação, no início dos anos 60, o uso de energia hidrelétrica foi limitado a alguns sistemas regionais isolados. Então, em 1967, o governo argentino criou a empresa *Hidroeléctrica Norpatagonia S.A.*, mais conhecida como Hidronor, cujo objetivo era produzir, distribuir e comercializar energia hidroelétrica, assim como avaliar e construir usinas hidrelétricas na Patagônia, porém, está também, foi fechada em 1992. Em seu período de atividade construiu sete usinas hidrelétricas, entre elas o complexo El Chocón (1977), no rio Limay, obra que devido ao seu tamanho e potência instalada, se tornaria parte fundamental do sistema energético do país.

Com o aumento do preço do petróleo na década 1970, obras hidrelétricas de grande magnitude foram registradas no país. Assim, no ano de 1973, foi assinado o acordo para a construção da barragem binacional entre Argentina e Paraguai, aproveitando o potencial hidrelétrico do rio Paraná. Este acordo deu origem a usina hidrelétrica de Yacyretá, que começou a ser construída em 1983, e devido a inúmeros atrasos, problemas ambientais e supostos casos de corrupção, o projeto final só foi inaugurado em 2011.

Foi nessa década também que outra usina hidrelétrica binacional começou a ser construída, a usina de Salto Grande. Idealizada desde a década de 1950, tanto pela Argentina como pelo Uruguai, sua

construção, no curso médio do rio Uruguai, começou em 1973, com conclusão do projeto final em 1982.

2.1.3.3.5 Energia Solar

Apesar de ainda estar em seus estágios iniciais, a energia solar já possui parques solares fotovoltaicos em operação, como o primeiro construído na Argentina e o maior da América Latina, Canãda Honda (2012), em San Juan. Porém, não satisfeito com este título, a Argentina está construindo um parque de energia solar que planeja ser ainda maior, na província de Jujuy encontra-se o empreendimento denominado Cauchari, com previsão de término para 2019. Com estes investimentos, espera-se que, a médio prazo, a geração de energia a partir desta fonte aumente.

2.1.3.3.6 Energia Eólica

Outra ERNC sendo desenvolvida na Argentina é a energia eólica, esta já vindo sendo desenvolvida a mais tempo que a solar. Em 1994, esse tipo de tecnologia foi adicionado à matriz energética do país, com as turbinas eólicas, nesse ano, houve a construção do primeiro parque eólico comercial da Argentina, “*Parque Eólico Antonio Moran*”, em Comodoro Rivadavia. Em 2011, este chegou a ser o produtor de energia eólica mais importante na América Latina, ao mesmo tempo que o maior parque eólico do país iniciava suas atividades, este se encontra na província de Chubut, o chamado parque Eólico Rawson.

2.1.3.3.7 Energia Geotérmica

Mais uma fonte de energia renovável que a Argentina tentou explorar, porém, esta sem muito sucesso devido aos altos custos de exploração, foi a energia geotérmica. Em 1988, entrou em operação uma usina piloto de energia geotérmica em Copahue, porém, saiu de serviço pouco tempo depois, em 1998.

2.1.3.3.8 Bioenergia

Uma das mais recentes tentativas para diversificação da matriz energética argentina é a biomassa. Considera-se esse tipo de fonte como

a fonte de energia renovável que dá esperança a Argentina para acabar com a dependência do gás natural e do petróleo. Foi a partir da década de 2010 que esse tipo de energia começou a ter uma participação significativa na matriz energética do país, chegando a 2017 com quatro usinas térmicas de geração a biogás.

2.1.3.4 Comentários

A matriz energética da Argentina é e será ainda por muitos anos fortemente dependente do petróleo e, em especial, do gás natural. Assim, como não foram descobertos novos depósitos nacionais de fácil exploração destas fontes, o governo propôs estratégias de curto e médio prazo que ainda incluem importações de gás natural para cobrir o déficit do setor, até que seja desenvolvido recursos suficientes para a exploração do depósito '*Vaca Muerta*'.

Enquanto isso, a crescente participação da energia nuclear na matriz energética nacional ajuda a moderar a dependência histórica dos combustíveis fósseis. Desse modo, o governo pretende investir cada vez mais no setor nuclear, focando no objetivo de elevar a porcentagem da energia nuclear na matriz energética nacional para 11-12% até os anos de 2025-2030.

Paralelamente ao desenvolvimento das fontes de energia não renováveis, a Argentina pretende continuar o desenvolvimento das fontes de energia renováveis, apesar de por enquanto, não se tem uma perspectiva de quando tais fontes poderão ocupar uma fatia significativa da matriz energética do país.

2.2 RAZÕES PARA UMA SISTEMA INTEGRADO

A América do Sul, em suas diversas regiões, apresenta uma grande variedade de recursos naturais que poderiam ser aproveitados como fontes de energia, entretanto, tais recursos não são distribuídos de maneira uniforme entre os países da região. Assim, percebe-se que existe uma complementariedade energética entre os países, sendo este o principal incentivo para a integração eletro-energética sul-americana. Essa complementariedade associada a diminuição nos custos, faz com que os recursos renováveis não sejam apenas alternativas viáveis economicamente, mas também possam suprir de forma confiável e sustentável a demanda de energia, agora e no futuro.

Essa complementariedade geográfica e de recursos renováveis, pode ser avaliada como uma alternativa importante para suavizar a variabilidade diária e sazonal na geração de energia baseada em fontes renováveis. Por exemplo, enquanto há locais no Brasil com um forte potencial para produção de energia eólica durante a noite, outras regiões como o Chile mostram um alto potencial para o uso de energia solar durante o dia. Desse ponto de vista, esses países poderiam se completar para atender a suas demandas de energia através do uso de fontes de energia renovável, aproveitando as diferentes circunstâncias geográficas e climáticas.

2.3 FREQUÊNCIA NAS INTERLIGAÇÕES

Cada país possui o valor de frequência nominal que julgou mais apropriado para seu sistema, tipicamente de 50 Hz ou 60 Hz. No caso dos países aqui estudados, o Brasil é o único que utiliza a frequência na rede elétrica igual a 60 Hz, os outros dois países optaram pela frequência nominal igual a 50 Hz.

Atualmente, existem duas possibilidades para a construção de interligações entre diferentes redes:

- Corrente contínua;
- Corrente alternada

Para a utilização de interligações em corrente contínua são necessárias estações retificadoras e inversoras para a conversão das tensões e correntes alternadas em contínuas. Este tipo de interligação, permite conectar sistemas com frequências nominais iguais ou diferentes, podendo, desta forma, ser utilizado em qualquer situação.

Já para interligações em corrente alternada, a conexão entre os sistemas é feita diretamente, com as linhas de transmissão e/ou transformadores de potência. O problema desse tipo de interligação, é que ele só permite a conexão de sistemas de energia de mesma frequência nominal. Assim, no exemplo desse trabalho, este tipo de tecnologia só poderia ser aplicado entre a Argentina e o Chile.

2.4 POSSÍVEIS CENÁRIOS PARA A INTEGRAÇÃO

Em [1] é feito uma análise sobre a sustentabilidade futura das fontes de energia, assim como um estudo do potencial eletro energético da América Latina e de uma possível integração energética na região. Com isto, foram desenvolvidos cenários, que serão sucintamente descritos na continuação, de possíveis perspectivas para a evolução do sistema eletro-energético na América Latina até o ano de 2030.

O primeiro cenário para a evolução das matrizes energéticas na América Latina, seria o chamado cenário ‘Base’, onde se considera uma trajetória “tradicional” no planejamento do atendimento da demanda dos sistemas. Ele tem como base os planos de domínio público, de expansão de geração e transmissão dos países no ano de 2015. Sendo assim, esse cenário reflete as atuais tendências das implantações de energias renováveis, sem a inclusão do projeto de integração regional latino-americana. Em síntese, no caso ‘Base’, há a baixa adição de fontes de energia renováveis na matriz energética dos países em questão, assim como pouca integração na transmissão internacional de energia.

O segundo cenário denominado ‘RE+’, oferece a possibilidade de incorporação (minimizando os custos do sistema elétrico) de fontes de energia mais sustentáveis, em especial as fontes de energia renováveis solar e eólica. Essa perspectiva visa a expansão do sistema até que se chegue numa porcentagem maior do uso das energias renováveis no continente latino-americano. Entretanto, nesse cenário, só se teria as interconexões existentes nas condições atuais. Ou seja, baixa integração de transmissão internacional, porém alta utilização das fontes de energias renováveis.

Por último, trabalha-se com o cenário ótimo, onde idealmente se deseja chegar, o ‘RE+CO’ (renováveis e conectadas). Nele se incorpora uma maior geração de energias renováveis, bem como um alto grau de integração de transmissão internacional. Apesar de ser o cenário excelente para o futuro, ele proporcionalmente exige uma proporção de capacidade instalada menor de fontes renováveis do que o segundo cenário mencionado, porém a relação de geração elétrica renovável permanece quase a mesma. Com isto, pode-se perceber o quão eficiente seria uma rede eletro energética integrada.

2.5 COMENTÁRIOS FINAIS

Como consequência do crescente interesse, observado nas últimas décadas, por fontes renováveis de energia, foi possível estabilizar o uso de combustíveis fósseis ao redor do globo. Assim, com investimentos no setor energético, as fontes renováveis de energia tornam-se cada vez mais viáveis e sustentáveis para a produção de eletricidade tanto no contexto global, como no sul do continente americano.

A América do Sul é uma região com recursos em abundância para a geração de energia, em seu território há grandes reservas e potenciais das principais fontes para geração de energia, como combustíveis fósseis

(petróleo, gás natural, carvão), biocombustíveis (etanol, biodiesel), hídricas e ERNC (eólica, solar, maré).

Dentre as fontes renováveis podemos dar destaque para a energia proveniente de usinas hidrelétricas, uma vez sendo o Brasil, uma das regiões do mundo com maior potencial hídrico. As fontes ERNC, em especial a eólica e solar, nos últimos anos, levantaram o interesse de diversos países, gerando muitos investimentos nestes setores e assim, tornando este tipo de fonte de energia mais acessível e barata.

Nos últimos 5 anos é possível perceber o grande aumento da capacidade solar instalada nesta parte do continente americano, no final de 2017, a capacidade total na região já chegava a 3700 MW, representando aproximadamente 0,9% da capacidade instalada total para a geração de energia elétrica [1]. Em particular, pode-se citar o Chile que como detentor de uma das regiões mais ensolaradas do planeta e com maior irradiância solar (deserto do Atacama) [6] e muitos investimentos na área, atingiu 55,8% da participação na capacidade solar total instalada na América Latina.

A geração de energia eólica tem uma representatividade um pouco maior se comparada a energia solar fotovoltaica. Até o final de 2017 sua capacidade total instalada chegava a 19720 MW, equivalente a 5% da capacidade de geração total de energia. Neste caso, o Brasil é o país com maior destaque na região, com participação de 58,4% da capacidade eólica total instalada na América Latina, depois dele pode-se listar o México, Chile e Uruguai com participações de 19,0%, 7,2% e 6,4% respectivamente [1].

Os custos de produção de eletricidade a partir da energia do sol, assim como a do vento vem caindo consideravelmente nos últimos anos, algo entre 30 a 80%. Este fato, somado com seus benefícios ambientais, fazem com que este tipo de geração sejam as melhores alternativas a curto e médio prazo para substituir a geração elétrica a base de combustíveis fósseis tradicionais.

Dessa maneira, é possível perceber que no caso de uma integração eletro-energética de países com tantos recursos energéticos as vantagens seriam gigantescas. Dentre estes pontos positivos, pode-se citar o aumento da segurança energética, o melhor aproveitamento dos recursos naturais de cada região, assim como das complementariedades das diferentes fontes de energia, de recursos e de carga, além da redução de custos de implantação e operação.

Contudo, nada vem sem seus problemas e dificuldades, como as assimetrias institucionais e regulatórias, como as diferentes frequências nominais, problemas políticos e de financiamento, além da falta de

estrutura física e de planejamento da expansão dos sistemas de energia. Porém, uma vez que tais empecilhos tenham sido contornados, os benefícios para todos os países envolvidos seriam inegáveis.

3 ANÁLISE DO DESEMPENHO DA FREQUÊNCIA

O desempenho da rede elétrica está diretamente relacionado à qualidade de energia elétrica. Este pode ser observado através de indicadores, que são monitorados em barramentos sob responsabilidade da concessionária de transmissão.

Os indicadores de desempenho dos SEE têm a capacidade de avaliar impactos, nos usuários de rede elétrica, de eventuais desvios em relação ao desempenho esperado e indicar as causas de violações, assim como propor alternativas de solução para a adequação do desempenho aos limites pré-estabelecidos. Os valores dos indicadores são obtidos a partir do registro de interrupções, medição contínua do sistema elétrico, monitoramento de eventos e de simulações.

A ênfase dada neste trabalho é para o desempenho do controle da frequência, que resumidamente, nada mais é do que um conjunto de ações que visa manter a frequência de operação do SEE dentro de uma faixa pré-definida em torno da frequência nominal estabelecida para a rede elétrica, corrigindo os desequilíbrios instantâneos entre a potência gerada e a potência demandada pelo sistema.

No seu escopo, os indicadores do desempenho da frequência precisam avaliar a capacitação e a eficiência dos seus respectivos sistemas em responder a demandas do sistema, como as variações de carga e geração e as mudanças na topologia da rede elétrica, mantendo a frequência dentro dos limites estabelecidos.

A análise desta grandeza é relevante, pois mudanças na frequência em uma ampla rede elétrica podem refletir o desequilíbrio entre a demanda de carga elétrica e a geração de energia fornecida para supri-la. Desequilíbrios energéticos de curta duração podem afetar instantaneamente a frequência do sistema, porém, geralmente tal mudança é muito pequena e não afeta seriamente o funcionamento da rede elétrica. Entretanto, após uma grande perturbação, a frequência do sistema elétrico pode assumir valores que mudam drasticamente os ajustes dos geradores.

Uma grande variação na frequência pode degradar o desempenho da carga, assim danificar seriamente equipamentos, causar sobrecarga nas linhas de transmissão e, eventualmente, levar a um colapso do próprio SEE, como consequência de eventos desencadeados pelo sistema de proteção da rede. Apesar das ocorrências graves serem raras, qualquer uma delas pode afetar seriamente o sistema.

Cada país estabelece um padrão de frequência nominal específico, bem como requisitos para o desempenho da frequência em regime normal

de operação e sob contingência. Assim, neste capítulo será apresentado os indicadores de cada um dos países estudados neste trabalho.

3.1 BRASIL

O Brasil possui diversos indicadores de desempenho da rede básica relacionados à qualidade da energia elétrica. Cada indicador tem seu respectivo processo de gerenciamento (apuração, acompanhamento do desempenho e divulgação de resultados) e tratamento de violações.

Os valores dos indicadores do desempenho da frequência devem ser apurados, analisados, gerenciados, disponibilizados e armazenados pelo operador nacional do sistema elétrico (ONS). Também, fica de responsabilidade do ONS a emissão todos os anos do ‘Relatório Gerencial dos Indicadores de Frequência e de Tensão de Atendimento em Regime Permanente’.

Os indicadores de desempenho da frequência utilizados neste trabalho foram encontrados nos procedimentos de rede vigentes do ONS, mais especificamente nos submódulos: 2.8 – Gerenciamento dos Indicadores de Qualidade de Energia Elétrica da Rede Básica e 25.6 – Indicadores de Frequência e de Tensão.

3.1.1 Indicadores

A primeira característica observada nos dados de frequência adquiridos foi se em condições normais de variação de carga, os desvios de frequência instantânea (valores absolutos sem a integração que posteriormente será feita) em relação ao valor nominal não excediam $\pm 0,1$ Hz.

Em seguida foram verificados os seguintes indicadores:

- a) Desempenho da Frequência em Regime Permanente - DFP
- b) Desempenho da Frequência em Distúrbios – DFD

Um detalhe importante, que se deve notar quando se for calcular esses indicadores, é as variações de frequência ocorridas durante períodos de distúrbios, pois, estas devem ser expurgadas do cálculo do indicador DFP.

3.1.1.1 DFP

O indicador DFP avalia as variações de frequência ocorridas durante a operação do sistema elétrico em regime normal de operação.

Este é calculado a partir da seguinte fórmula:

$$DFP = \left(1 - \left(\frac{n}{1440 - X}\right)\right) * 100 (\%) \quad (1)$$

Onde:

- n – Número de vezes em que A , calculada em intervalos de um minuto, foi superior a 0,1 Hz.min, considerando o total de 1440 intervalos diários;
- X – Número de intervalos em que tenham ocorrido distúrbios.

O cálculo de A , necessário para a determinação de DFP, corresponde ao cálculo da integral do módulo do desvio da frequência.

$$A = \int |\Delta f(t)| \cdot dt \text{ (Hz.min)} \quad (2)$$

Onde:

- Δf – Desvio da frequência: $f - f_0$;
- f – Frequência medida (Hz);
- f_0 – Frequência nominal: 60 Hz;
- t – Tempo (minutos).

O indicador DFP deve ter valor igual ou superior a 99% a cada dia, ou seja, o valor de A deve apresentar no máximo 14 valores superiores a 0,1 Hz.min a cada dia.

Quando a integral do módulo do desvio da frequência for calculada no minuto em que coincidir com o início de um distúrbio, esta não deverá ser considerada se nesse intervalo forem verificados valores absolutos de frequência superiores a $\pm 0,5$ Hz em relação ao valor nominal da frequência (sendo esta a caracterização de um distúrbio no SIN).

3.1.1.2 DFD

O indicador DFD serve para avaliar as variações de frequência ocorridas durante distúrbios no sistema elétrico, sendo estabelecido a partir dos valores absolutos da frequência, sem integralização, em cada distúrbio.

Este indicador é contabilizado para o período de um ano e não deve extrapolar os limites estabelecidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Limites para avaliação do desempenho da frequência durante distúrbios

Faixa de Frequência (DFD)	Tempo acumulado máximo de exposição a desvios de frequência (segundos)
$f > 66,0$ Hz	0,0

63,5 Hz < f ≤ 66,0 Hz	30,0
62,0 Hz < f ≤ 63,5 Hz	150,0
60,5 Hz < f ≤ 62,0 Hz	270,0
58,5 Hz ≤ f < 59,5 Hz	390,0
57,5 Hz ≤ f < 58,5 Hz	45,0
56,5 Hz ≤ f < 57,5 Hz	15,0
f < 56,5 Hz	0,0

Fonte: Procedimentos de Rede - Submódulos 2.8 (ONS).

3.2 CHILE

A abordagem do Chile na regulação da frequência pode ser dividida em dois níveis: regulação primária e secundária da frequência. A regulação primária, conhecida como CPF (siglas em espanhol para, *control primario de frecuencia*), é o modo com a resposta mais rápida a perturbações, a sua ação de controle é exercida pelos controladores de carga/velocidade das unidades geradoras síncronas e dos controladores de frequência/potência de parques eólicos, fotovoltaicos e bancos de compensação e energia ativa, habilitados para alterar, de forma automática, a produção destes, com o objetivo de corrigir os desvios de frequência.

Já a regulação secundária, chamada de CSF (do espanhol, *control secundario de frecuencia*), pode ter atuação manual ou automática e é destinada a corrigir desvios permanentes de frequência resultantes da ação do CPF. A ação do CSF deve ser mantida durante o tempo necessário para manter a frequência dentro de uma faixa admissível em relação ao seu valor nominal, sua duração pode variar de segundos e minutos (não podendo ultrapassar 15 minutos), conforme a capacidade de resposta da unidade geradora.

3.2.1 Indicadores

Como já mencionado neste trabalho, o sistema elétrico chileno opera a uma frequência nominal de 50 Hz e em condições normais de operação é permitido uma faixa de variação de $\pm 0,2$ Hz da frequência nominal. Em outras palavras, para o estado normal e de alerta, o valor da frequência nominal pode flutuar entre 49,80 Hz e 50,20 Hz por pelo menos 99% de um período de controle de sete dias consecutivos. Já para uma ocasião de estado de emergência, é permitido um intervalo de desvio de $\pm 0,5$ Hz durante o mesmo período de tempo.

3.3 ARGENTINA

Na Argentina a regulação primária e secundária da frequência é estabelecida pelo procedimento técnico indicado por [9], e este por sua vez segue as especificações do anexo [8]. Estes documentos regulam a produção de energia, como a constância das magnitudes de tensão e frequência, de modo a manter a segurança, qualidade e economia do fornecimento do sistema elétrico. Além disso, a estabilidade da frequência em sistemas com o SADI (*sistema argentino de interconexión*), contribui para uma operação estável e facilidade em seu controle.

A RPF (*regulación primaria de frecuencia*) é a regulação de ação rápida, com um tempo de resposta menor que 30 segundos, ela visa equilibrar as partidas do despacho planejado, principalmente devido às exigências causadas pelas variações de demanda, quando o sistema elétrico se encontra em regime normal de operação. Isso é feito através de equipamentos instalados nas máquinas que permitem a modificação, de forma automática, da geração.

Já a RSF (*regulación secundaria de frecuencia*) pode ser feita manual ou automaticamente sobre as variações de carga de um grupo de máquinas específicas para este fim, que compensam o erro final da frequência resultante da RPF. Sua principal função é absorver variações de demanda em relação ao previsto para o sistema elétrico em regime normal. Seu tempo de resposta é da ordem de minutos para recuperar o valor nominal de frequência, se a magnitude da perturbação assim permitir.

3.3.1 Indicadores

Para a regulação de frequência primária e/ou secundária a frequência de referência será igual a frequência nominal do sistema (50 Hz), exceto em circunstância excepcionais nas quais o COC (*centro de control de operaciones del SADI*) pede um valor diferente.

O limite dentro do qual a frequência deve ser mantida, quando em condições normais de operação, é de $\pm 0,2$ Hz em relação a frequência de referência. Já em situações de condições anormais de operação, o COC poderá pedir valores diferentes de frequência de referência. E uma vez, que as anormalidades tenham desaparecido, o COC pedirá o retorno imediato aos valores normais.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta a quantificação dos indicadores do controle da frequência discursados no capítulo 3, quando aplicados aos registros de sincrofasores dos SEE do Brasil, Chile e Argentina.

4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

Com o auxílio do aplicativo MedPlot, software utilizado para fazer a busca de dados históricos armazenados pelo PDC, foi decidido fazer uma análise do mês de setembro de 2018 nos sistemas do Brasil, Chile e Argentina. O MedPlot tem a opção de escolher a resolução com a qual será realizada a pesquisa, as opções são de 1 fasor/s, 10, 30 e 60 fasores/s; para país com frequência nominal igual a 60 Hz e de 1 fasor/s, 10, 25 e 50 fasores/s para países de frequência igual a 50 Hz.

O objetivo ideal seria realizar as análises com a maior resolução de dados possível, entretanto, devido ao imenso número de dados, decorrente da alta resolução, o tempo de pesquisa ficaria prejudicado, assim como o processamento dos dados obtidos. Dessa forma, foi feita uma comparação dos resultados obtidos no mês de fevereiro no Brasil para dados com 10 fasores/s de resolução e para com 60 fasores/s.

A resolução de 60 fasores/s foi escolhida por ser a melhor resolução disponível no MedPlot, porém, a pesquisa de aquisição de dados neste, para um período de 1 (um) dia, para uma única PMU, era de em torno de 15 (quinze) minutos, e o processamento dos 5.184.000 dados decorrente da pesquisa, era de aproximadamente 10 (dez) minutos. Já para uma resolução de 10 fasores/s, que seria a menor resolução disponível no MedPlot que fosse maior que a utilizada pelo ONS, o tempo de pesquisa de um dia de dados cairia para em torno de 3 (três) minutos e o tempo de processamento dos 864.000 dados seria em torno de 4 (quatro) minutos.

O mês de fevereiro foi escolhido devido aos diversos distúrbios que ocorreram durante o período. Estes eventos necessariamente precisariam ser detectados com sucesso, para que se pudesse validar o uso de uma menor resolução de pesquisa de dados.

Ao final desta análise, concluiu-se que os resultados adquiridos para ambas as resoluções eram iguais, sendo assim, optou-se por fazer as demais pesquisas e análises à 10 fasores/s, diminuindo dessa forma o tempo de pesquisa e de processamento dos dados.

4.2 ESTRATÉGIA PARA CÁLCULO DOS INDICADORES

Depois de alguns testes e verificações, decidiu-se que o jeito mais simples e rápido para o processamento dos dados adquiridos no aplicativo

MedPlot, e que eram fornecidos em formato .txt, seria através de um código computacional desenvolvido no Excel, por meio da linguagem de programação chamada VBA (*Virtual Basic for Applications*). Sendo assim possível importar e analisar automaticamente as tabelas de dados geradas. O código computacional desenvolvido neste trabalho será chamado de ADF (Análise do Desempenho da Frequência).

Como o ADF somente consegue analisar um arquivo de dados de cada vez. Optou-se por fazer a análise de uma única PMU por país estudado. No Brasil escolheu-se a UFSC, no Chile a UTEM (*Universidad Tecnológica Metropolitana*) e na Argentina a UNLP (*Universidad Nacional de La Plata*).

4.2.1 Validação do ADF

Para comprovar que o ADF estava fornecendo valores corretos, foi utilizado o relatório gerencial dos indicadores de frequência do ano de 2018 para o SIN, fornecido pelo ONS. A validação dos resultados foi feita através da análise dos dados medidos na PMU UFSC, no mês de fevereiro do ano de 2018, pois, como ressaltado anteriormente, neste período houve diversas ocorrências, que precisariam ser observadas corretamente pelo algoritmo desenvolvido, para comprovar sua funcionalidade.

Como pode-se observar nas tabelas a seguir, os resultados obtidos através do ADF foram próximos o suficiente dos valores encontrados no relatório oficial do ONS, para as desconformidades serem atribuídas as diferenças na aquisição de dados, como a resolução e a região onde os dados foram medidos, assim como a diferença relacionadas ao tempo utilizado para o cálculo de cada indicador.

Assim, atribui-se, principalmente, as pequenas diferenças observadas a referência de tempo utilizada por cada fonte de cálculo de indicadores. Nos dados oriundos das PMU, é utilizado como referência o tempo UTC (do inglês, *Coordinated Universal Time*), e no caso dos dados do SIN, é usado o horário de Brasília. Sendo assim, há uma divergência de duas horas entre os dias analisados segundo [27] e o ADF, até o dia 16 de fevereiro e a partir do dia 17 de fevereiro, por decorrência do final do horário de verão, esta divergência é de três horas. Para fins de validação do algoritmo desenvolvido, foi ignorada esta diferença.

Na tabela retirada do relatório do ONS, é utilizada a denominação de regime permanente, para situações de regime normal de operação, designação escolhida neste trabalho.

Tabela 2 – Valores de DFP - Agregação Diária segundo o ONS –
Fevereiro/2018

Dia	Regime Permanente ¹		Distúrbio ²		Minutos	DFP (%)
	Sobrefreq.	Subfreq.	Sobrefreq.	Subfreq.		
1	2	2	0	0	1440	99,72
2	0	1	0	2	1440	99,93
3	2	2	0	2	1440	99,72
4	12	1	0	0	1440	99,10
5	6	2	0	0	1440	99,44
6	0	3	0	0	1440	99,79
7	0	13	0	0	1440	99,10
8	2	0	0	0	1440	99,86
9	0	1	0	0	1440	99,93
10	0	0	0	0	1440	100,00
11	0	0	0	0	1440	100,00
12	0	1	0	0	1440	99,93
13	0	0	0	0	1440	100,00
14	0	3	0	0	1440	99,79
15	0	0	0	0	1440	100,00
16	0	0	0	0	1440	100,00
17	0	2	0	2	1440	99,86
18	0	0	0	0	1440	100,00
19	5	2	0	0	1440	99,51
20	0	1	0	0	1440	99,93
21	0	12	0	0	1440	99,17
22	0	1	0	0	1440	99,93
23	0	0	0	0	1440	100,00
24	0	0	0	0	1440	100,00
25	0	0	0	0	1440	100,00
26	0	5	0	0	1440	99,65
27	3	2	0	0	1440	99,65
28	2	0	0	0	1440	99,86

Fonte: Relatório Gerencial do Indicadores de Frequência – DFP e DFD, 2018 (ONS).

¹ – Valor de ‘n’: Número de vezes em que a integral do módulo do desvio da frequência (A), calculada para intervalos de um minuto, foi superior a 0,1 Hz.min.

² – Valor de ‘X’: Número de vezes em que A, foi superior a 0,1 Hz.min e foi verificado valor absoluto de frequência superior a $\pm 0,5$ Hz em relação a frequência nominal.

Tabela 3 – Valores de DFP - Agregação Diária segundo o ADF –
Fevereiro/2018 – Referência PMU UFSC

Dia	Regime Normal de Operação ¹		Distúrbio ²		Minutos	DFP (%)
	Sobrefreq.	Subfreq.	Sobrefreq.	Subfreq.		
1	0	3	0	0	1440	99,79
2	1	3	0	1	1440	99,72
3	1	3	0	1	1440	99,72
4	11	0	0	0	1440	99,24
5	4	3	0	0	1440	99,51
6	0	3	0	0	1440	99,79
7	0	15	0	0	1440	98,96
8	2	0	0	0	1440	99,86
9	0	2	0	0	1440	99,86
10	0	0	0	0	1440	100,00
11	0	0	0	0	1440	100,00
12	0	1	0	0	1440	99,93
13	0	1	0	0	1440	99,93
14	0	3	0	0	1440	99,79
15	0	0	0	0	1440	100,00
16	0	0	0	0	1440	100,00
17	1	3	0	2	1440	99,72
18	0	0	0	0	1440	100,00
19	0	3	0	0	1440	99,79
20	1	1	0	0	1440	99,86
21	0	15	0	0	1440	98,96
22	0	1	0	0	1440	99,93
23	0	0	0	0	1440	100,00
24	0	0	0	0	1440	100,00
25	0	0	0	0	1440	100,00
26	0	6	0	0	1440	99,58
27	2	3	0	0	1440	99,65
28	0	0	0	0	1440	100,00

Fonte: Autor.

¹ – Valor de ‘n’: Número de vezes em que a integral do módulo do desvio da frequência (A), calculada para intervalos de um minuto, foi superior a 0,1 Hz.min.

² – Valor de ‘X’: Número de vezes em que A, foi superior a 0,1 Hz.min e foi verificado valor absoluto de frequência superior a $\pm 0,5$ Hz em relação a frequência nominal.

O mesmo critério de avaliação de desempenho do indicador DFP, para sua agregação diária, é adotado para a agregação mensal, considerando, todavia, os respectivos períodos de duração, mas com o mesmo índice meta percentual de 99%. Por exemplo, considerando o mês teste de fevereiro de 2018, que possuiu 28 dias, a agregação mensal DFP neste intervalo, poderá possuir no máximo 403 valores da integral do desvio de frequência superior a 0,1 Hz.min, que é o valor de 1% dos 40320 minutos que compuseram o mês em questão.

Tabela 4 – Valores de DFP - Agregação Mensal segundo o ONS – Fevereiro/2018

Mês	Regime Permanente		Distúrbio		Minutos	DFP (%)
	Sobrefreq.	Subfreq.	Sobrefreq.	Subfreq.		
2	34	54	0	6	40320	99,78

Fonte: Relatório Gerencial do Indicadores de Frequência – DFP e DFD, 2018 (ONS).

Tabela 5 – Valores de DFP - Agregação Mensal segundo o ADF – Fevereiro/2018

Mês	Regime Normal de Operação		Distúrbio		Minutos	DFP (%)
	Sobrefreq.	Subfreq.	Sobrefreq.	Subfreq.		
2	23	69	0	4	40320	99,77

Fonte: Autor.

Após a análise em regime normal de operação, observa-se como o período se comportou em situações de contingência. As tabelas abaixo mostram como o período analisado para a validação está segundo os indicadores DFD. Nas tabelas, a hora indicada está de acordo com o horário oficial de Brasília, assim como no relatório do ONS, entretanto, as figuras tiradas diretamente do aplicativo MedPlot estão com o horário UTC. Ou seja, no período de fevereiro de 2018, com o horário de verão até o dia 16, Brasília estava 2 (duas) horas atrás do horário de UTC, e a partir do dia 17, Brasília estava 3 (três) horas atrás de UTC.

Os eventos observados segundo os dados retirados do MedPlot demonstram uma maior precisão quanto ao horário em que ocorreu o desvio máximo de frequência no evento, assim como a duração do evento, quando comparado aos dados fornecidos no relatório oficial do ONS. Esta maior precisão é associada a maior precisão na aquisição dos dados analisados.

Tabela 6 – Valores de DFD - Agregação por Evento segundo o ONS – Fevereiro/2018

Data / Hora	Faixa de Frequência	Duração (seg.)	Desvio Máximo da Frequência (Hz)
02/02/2018 02:17	58,5 Hz ≤ f < 59,5 Hz	8	59,44 Hz
03/02/2018 09:44	58,5 Hz ≤ f < 59,5 Hz	7	59,44 Hz
17/02/2018 14:26	58,5 Hz ≤ f < 59,5 Hz	29	59,14 Hz

Fonte: Relatório Gerencial do Indicadores de Frequência – DFP e DFD, 2018 (ONS).

Tabela 7 – Valores de DFD - Agregação por Evento segundo o ADF – Fevereiro/2018 – Referência PMU UFSC

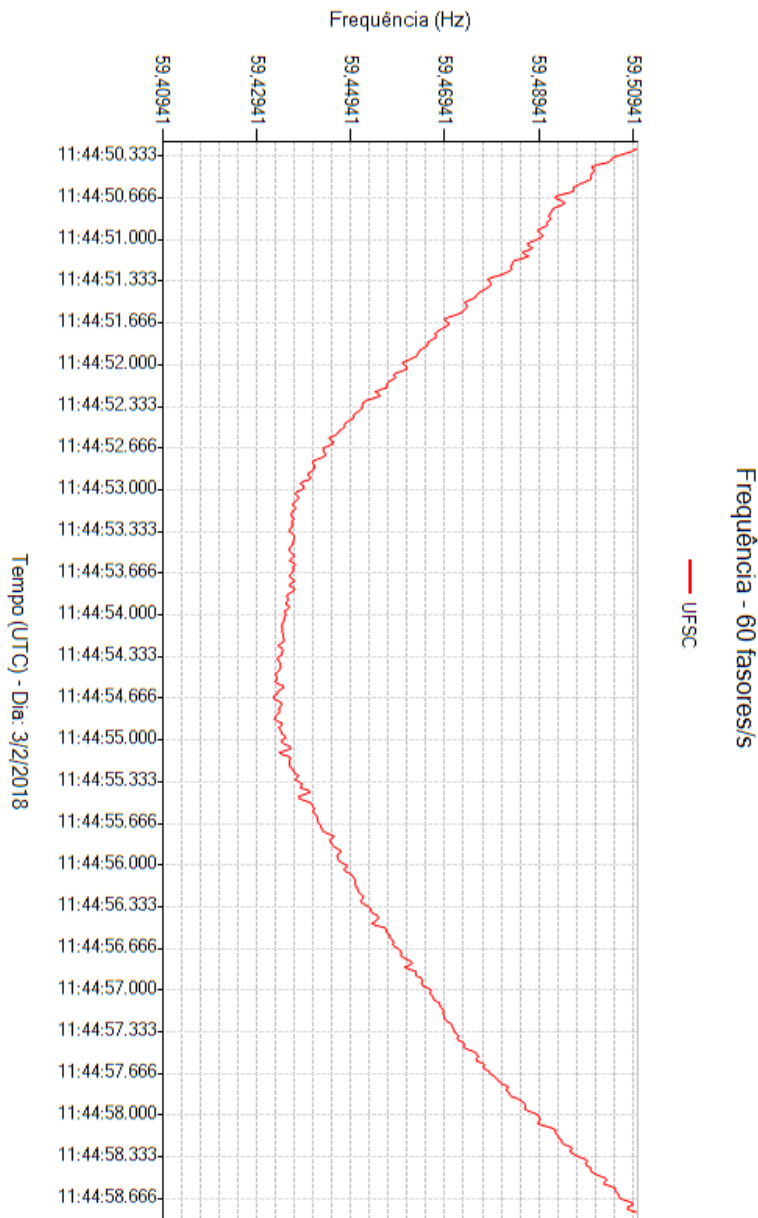
Data / Hora	Faixa de Frequência	Duração (seg.)	Desvio Máximo da Frequência (Hz)
02/02/2018 02:17:54	58,5 Hz ≤ f < 59,5 Hz	7,9	59,43 Hz
03/02/2018 09:44:54	58,5 Hz ≤ f < 59,5 Hz	7,9	59,43 Hz
17/02/2018 14:26:16	58,5 Hz ≤ f < 59,5 Hz	30,1	59,13 Hz

Fonte: Autor.

Conforme a Figura 1, pode-se perceber que os resultados apresentados pelo ADF para a duração dos distúrbios observados, são compatíveis com aqueles apresentados pelo ONS. Na figura é possível observar que o evento percorre os segundos 51 até 57 por completo, totalizando 7 segundos, contudo, o evento efetivamente começa alguns milissegundos antes deste período e termina alguns depois, indicando assim, a maior duração do evento quando comparado ao registro do ONS.

As diferenças mais críticas analisadas foram a desconformidade nos períodos sob contingência do indicador DFP. Estas podem ser atribuídas a diferentes pontos da medição de sincrofzores, podendo levar ao deslocamento de alguns segundos do evento. Por exemplo, enquanto no dia 03/02, o evento inicia no segundo 50 e termina no 58, contabilizando um minuto em que se ocorreu um distúrbio, o evento registrado pelo ONS poder ter finalizado no segundo um ou dois do minuto seguinte, indicando dois minutos com a presenta de um evento.

Figura 1 – Evento do dia 03/02/2018 às 09:44:55.



Fonte: Gráfico gerado pelo aplicativo MedPlot.

4.2.2 Análise de Dados

Como visto no capítulo anterior, cada país possui seu próprio indicador para o desempenho da frequência em seus sistemas de energia. Entretanto, para efeito de comparação, foram aplicados os indicadores de desempenho da frequência do Brasil aos dados obtidos do Chile e da Argentina. Assim foi possível ter uma melhor noção do comportamento da frequência em cada país.

Entretanto, para ser justo aos indicadores de cada país, foi, também, contabilizado o tempo no qual as frequências em seus SEE estavam acima da faixa delimitada pelos indicadores respectivos de cada país. Este tempo foi depois convertido para valores em porcentagem para uma melhor avaliação de seu desempenho. Para que não houvesse confusão, neste trabalho, os indicadores com banda permitida de 0,1 Hz (Brasil), será denominado 'DFP1' e indicadores com banda igual a 0,2 Hz, será o chamado 'DFP2'.

Além disso, ainda há a questão das diferentes frequências nominais entre os países; Brasil com frequência igual a 60 Hz, enquanto, o Chile e Argentina com 50 Hz. Devido a estas diferenças, foi necessário fazer pequenas alterações nos valores base dos indicadores com banda 0,1 Hz, para que eles fizessem sentido na análise. Para isso, foi calculado os valores em p.u. com a base 60 Hz e depois convertidos para a base 50 Hz. Os resultados dessas transformações podem ser verificados na Tabela 8.

Tabela 8 – Conversão de 60 Hz para 50 Hz

Base em 60 Hz	p.u.	Base em 50 Hz
66,0 Hz	1,1	55,0 Hz
63,5 Hz	1,05833	52,9 Hz
62,0 Hz	1,03333	51,7 Hz
60,5 Hz	1,00833	50,4 Hz
59,5 Hz	0,99167	49,6 Hz
58,5 Hz	0,97555	48,7 Hz
57,5 Hz	0,95833	47,9 Hz
56,5 Hz	0,94167	47,1 Hz
0,1 Hz	$1,667 \cdot 10^{-3}$	0,08333 Hz
0,5 Hz	$8,333 \cdot 10^{-3}$	0,41667 Hz

Fonte: Autor.

Assim para o indicador DFP2, a variável n (número de vezes em que A , calculada em intervalos de um minuto), não poderá ser superior a 0,08333 Hz.min. Ou seja, o valor A deve apresentar no máximo 14 valores diários superior a 0,08333 Hz.min. Da mesma forma que deverá desconsiderar valores de A , quando no intervalo forem verificados valores absolutos de frequência superiores a $\pm 0,41667$ Hz em relação ao valor nominal da frequência (nova definição de distúrbio para estas condições).

Para o indicador DFD, a contabilização de tempo para um período de um ano, fica de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 – Limites para avaliação do desempenho da frequência durante distúrbios – Base de 50 Hz

Faixa de Frequência (DFD)	Tempo acumulado máximo de exposição a desvios de frequência (segundos)
$f > 55,0$ Hz	0,0
$52,9 \text{ Hz} < f \leq 55,0$ Hz	30,0
$51,7 \text{ Hz} < f \leq 52,9$ Hz	150,0
$50,4 \text{ Hz} < f \leq 51,7$ Hz	270,0
$48,7 \text{ Hz} \leq f < 49,6$ Hz	390,0
$47,9 \text{ Hz} \leq f < 48,7$ Hz	45,0
$47,1 \text{ Hz} \leq f < 47,9$ Hz	15,0
$f < 47,1$ Hz	0,0

Fonte: Autor.

4.3 AMBIENTE DE EXPERIMENTAÇÃO

Para efeito de comparação os resultados apresentados nesta seção serão todos referentes ao mês de setembro do ano de 2018. Os valores nas tabelas relacionados à apresentação em regime permanente (segundo a denominação utilizada pelo ONS) ou regime normal de operação (denominação escolhida neste trabalho) indicam o número de vezes em que a integral do módulo do desvio de frequência (A), calculada para intervalos de um minuto, foi superior a 0,1 Hz no caso brasileiro e a 0,0833 Hz para o Chile e a Argentina. Assim como nos campos de valores para distúrbio no indicador DFP, fazem referência ao número de vezes em que a integral do módulo do desvio de frequência (A), calculada para intervalos de um minuto, foi superior a 0,1 Hz (banda de 0,1 Hz) e 0,0833 Hz (banda de 0,2 Hz), ao mesmo tempo que foi verificado um valor

absoluto de frequência superior a $\pm 0,5$ Hz (Brasil) ou 0,4167 Hz (Chile e Argentina) em relação aos seus respectivos valores nominais.

No ambiente de experimentação, os indicadores foram calculados usando a referência de tempo UTC.

4.3.1 Brasil

4.3.1.1 DFP1

As tabelas a seguir apresentam os resultados da agregação diária no Brasil para o indicador DFP1 no mês de setembro do ano de 2018 e a agregação total deste mesmo mês.

Tabela 10 – Resultado DFP1 - Agregação Diária – Setembro/2018 – Referência PMU UFSC

Dia	Regime Normal de Operação ¹		Distúrbio ²		Minutos	DFP (%)
	Sobrefreq.	Subfreq.	Sobrefreq.	Subfreq.		
1	2	0	0	0	1440	99,86
2	0	0	0	0	1440	100,00
3	0	1	0	0	1440	99,93
4	1	3	0	0	1440	99,72
5	0	0	0	0	1440	100,00
6	0	0	0	0	1440	100,00
7	1	5	0	0	1440	99,58
8	1	0	0	0	1440	99,93
9	2	8	0	0	1440	99,30
10	0	0	0	0	1440	100,00
11	1	0	0	0	1440	99,93
12	0	0	0	0	1440	100,00
13	0	0	0	0	1440	100,00
14	0	0	0	0	1440	100,00
15	0	0	0	0	1440	100,00
16	5	0	0	0	1440	99,65
17	0	0	0	0	1440	100,00
18	0	0	0	0	1440	100,00
19	0	0	0	0	1440	100,00
20	0	0	0	0	1440	100,00
21	0	1	0	0	1440	99,93
22	0	3	0	0	1440	99,79
23	0	0	0	0	1440	100,00
24	0	3	0	0	1440	99,79
25	0	0	0	0	1440	100,00
26	5	9	0	0	1440	99,03
27	0	2	0	0	1440	99,86
28	0	0	0	0	1440	100,00
29	0	3	0	0	1440	99,79
30	4	8	0	0	1440	99,17

Fonte: Autor.

¹ – Valor de ‘n’: Número de vezes em que a integral do módulo do desvio da frequência (A), calculada para intervalos de um minuto, foi superior a 0,1 Hz.min.

² – Valor de ‘X’: Número de vezes em que A, foi superior a 0,1 Hz.min e foi verificado valor absoluto de frequência superior a $\pm 0,5$ Hz em relação a frequência nominal.

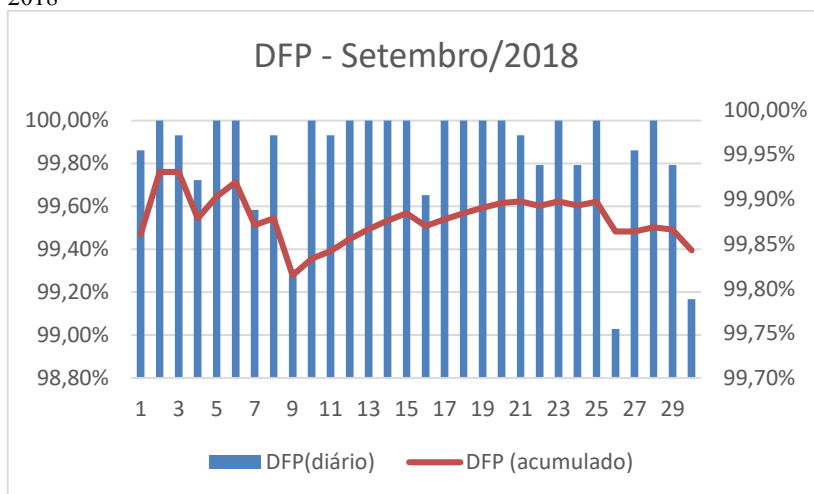
Tabela 11 – Resultado DFP1 - Agregação Mensal – Setembro/2018 – Referência PMU UFSC

Mês	Regime Normal de Operação		Distúrbio		Minutos	DFP (%)
	Sobrefreq.	Subfreq.	Sobrefreq.	Subfreq.		
9	22	46	0	0	43200	99,84

Fonte: Autor.

De acordo com a metodologia aplicada no Brasil, o critério de desempenho do indicador DFP1, para sua agregação diária de apuração, estabelece que seus resultados devam ser iguais ou superiores a 99% a cada dia. Ao longo do período estudado para a região do Brasil, o indicador DFP1 apresentou um desempenho satisfatório, não apresentando em nenhum momento valores que saiam dos critérios pré-estabelecidos, conforme apresentado nas tabelas anteriores e resumidamente na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Gráfico Referente ao Indicador DFP1 para o Mês de Setembro de 2018



Fonte: Autor.

4.3.1.2 DFD

No Brasil, no mês de setembro de 2018, não houve nenhum distúrbio segundo a Tabela 1, ou seja, o indicador DFD, no mês em questão, não ultrapassou a referência de avaliação de desempenho em nenhuma das oito faixas de frequência estabelecidas.

4.3.2 Chile

4.3.2.1 DFP1

As tabelas abaixo contêm os resultados da agregação diária no Chile para o indicador DFP1 para mês de setembro do ano de 2018 e a agregação total deste mesmo mês.

Tabela 12 – Resultado DFP1 - Agregação Diária – Setembro/2018 – Referência PMU UTEM

Dia	Regime Normal de Operação		Distúrbio		Minutos	DFP (%)
	Sobrefreq.	Subfreq.	Sobrefreq.	Subfreq.		
1	8	9	0	0	1440	98,82
2	7	32	0	0	1440	97,29
3	27	58	0	0	1440	94,10
4	23	27	0	0	1440	96,53
5	4	22	0	0	1440	98,19
6	50	55	0	0	1440	92,71
7	33	12	0	0	1440	96,87
8	4	31	0	0	1440	97,57
9	1	45	0	0	1440	96,80
10	8	20	0	0	1440	98,05
11	15	24	0	0	1440	97,29
12	13	26	0	1	1440	97,29
13	9	42	0	0	1440	96,46
14	2	34	0	0	1440	97,50
15	2	16	0	0	1440	98,75
16	17	42	0	0	1440	95,90
17	18	13	0	0	1440	97,85
18	35	41	0	0	1440	94,72
19	8	66	0	0	1440	94,86
20	5	4	0	0	1440	99,37
21	19	34	0	0	1440	96,32
22	145	56	0	0	1440	86,04
23	56	79	0	0	1440	90,62
24	59	22	0	0	1440	94,37
25	12	33	0	0	1440	96,87
26	4	27	0	0	1440	97,85
27	17	50	0	0	1440	95,35
28	21	43	0	0	1440	95,55
29	65	114	0	0	1440	87,57
30	37	37	0	0	1440	94,86

Fonte: Autor.

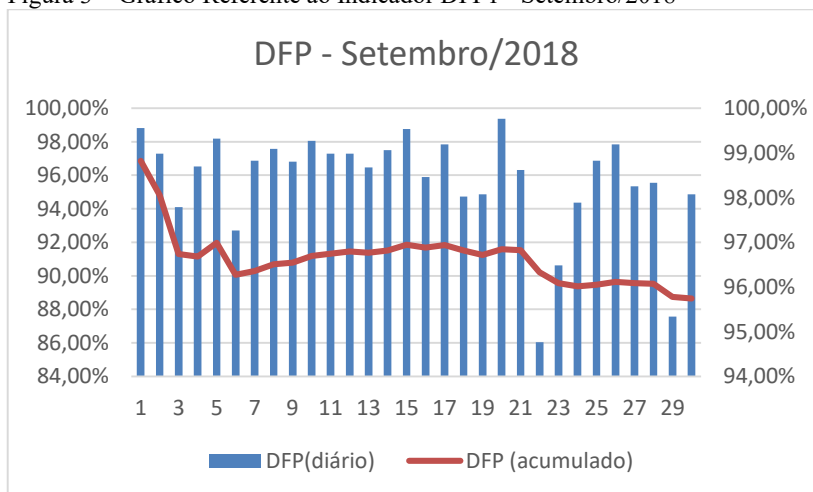
Tabela 13 – Resultado DFP1 - Agregação Mensal – Setembro/2018 – Referência PMU UTEM

Mês	Regime Normal de Operação		Distúrbio		Minutos	DFP (%)
	Sobrefreq.	Subfreq.	Sobrefreq.	Subfreq.		
9	724	1114	0	1	43200	95,74

Fonte: Autor.

Como já dito anteriormente, de acordo com o regulamento desenvolvido para o Brasil, resultado do indicador DFP1, deve ser igual ou superior a 99% a cada dia. Para melhor visualização dos resultados, na Figura 3 são apresentados os resultados das agregações diárias do mês estudado.

Figura 3 – Gráfico Referente ao Indicador DFP1 - Setembro/2018



Fonte: Autor.

Observa-se que, segundo os critérios aplicados no Brasil, o controle da frequência atual do sistema chileno estaria, quase na totalidade dos dias, fora do recomendado.

4.3.2.2 DFP2

As tabelas abaixo representam os resultados reais de desempenho do sistema chileno, uma vez que estes foram calculados com os parâmetros considerados pela regulamentação do país.

Tabela 14 – Resultado DFP2 - Agregação Diária – Setembro/2018 – Referência PMU UTEM

Dia	Tempo em milissegundos	Minutos	DFP (%)
1	7500	1440	99,99
2	81900	1440	99,90
3	218700	1440	99,75
4	9200	1440	99,99
5	1600	1440	99,99
6	373600	1440	99,57
7	0	1440	100,00
8	5200	1440	99,99
9	0	1440	100,00
10	1900	1440	99,99
11	20700	1440	99,98
12	44600	1440	99,95
13	0	1440	100,00
14	88400	1440	99,89
15	0	1440	100,00
16	0	1440	100,00
17	3100	1440	99,99
18	11500	1440	99,98
19	15000	1440	99,98
20	0	1440	100,00
21	6100	1440	99,99
22	78400	1440	99,91
23	89400	1440	99,89
24	3700	1440	99,99
25	9500	1440	99,98
26	11300	1440	99,98
27	21100	1440	99,97
28	0	1440	100,00
29	195700	1440	99,77
30	8700	1440	99,98

Fonte: Autor.

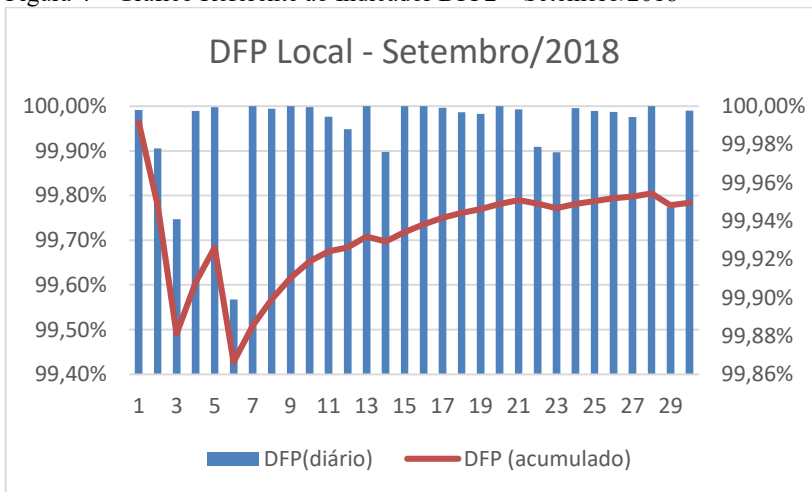
Tabela 15 – Resultado DFP2 - Agregação Mensal – Setembro/2018 – Referência PMU UTEM

Mês	Tempo em milissegundos	Minutos	DFP (%)
9	1306800	43200	99,95

Fonte: Autor.

Desta maneira é possível notar que para os critérios vigentes no Chile, o desempenho, do ponto de vista da frequência, para o sistema de energia elétrica chileno, obtém níveis altos e por tanto aceitáveis. A Figura 4 a seguir demonstra a melhora dos resultados uma vez que calculados com os parâmetros corretos.

Figura 4 – Gráfico Referente ao Indicador DFP2 – Setembro/2018

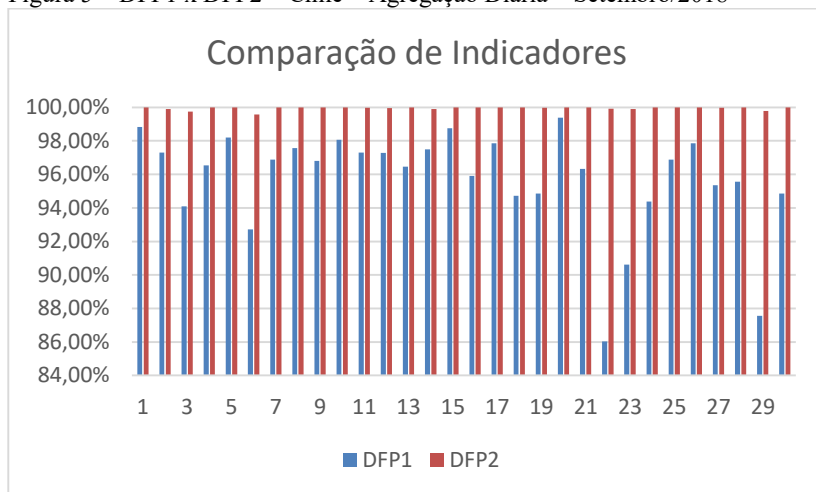


Fonte: Autor.

4.3.2.3 DFP1 x DFP2

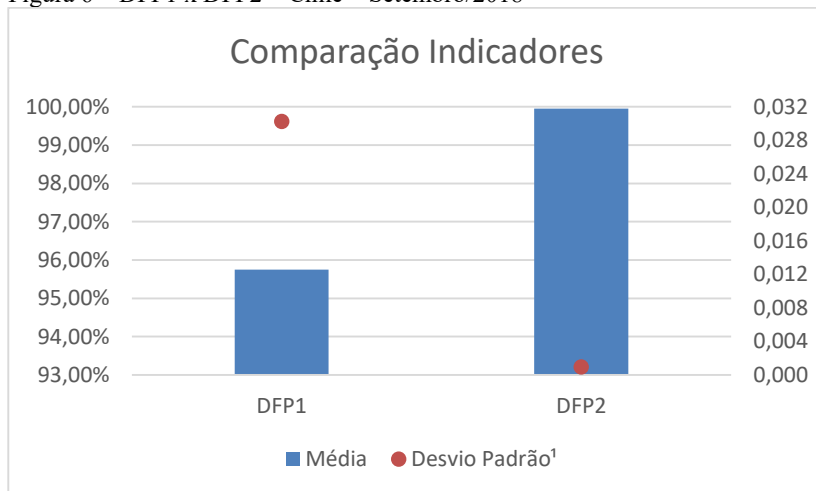
Nas figuras abaixo podemos observar os gráficos de comparação do desempenho do controle da frequência segundo os critérios utilizados no Brasil e segundo os definidos pelo próprio Chile.

Figura 5 – DFP1 x DFP2 – Chile – Agregação Diária – Setembro/2018



Fonte: Autor.

Figura 6 – DFP1 x DFP2 – Chile – Setembro/2018



Fonte: Autor.

¹ – Desvio padrão com base na população inteira dada como argumentos.

4.3.2.4 DFD

No caso do Chile, sabe-se que de acordo com os indicadores chilenos em situação de contingência são considerados distúrbios desvios da frequência nominal, de valor igual ou superior a $\pm 0,5$ Hz. De acordo com esta definição, no Chile, em setembro de 2018, não houve nenhum distúrbio em seu sistema elétrico.

Porém, continuando com a análise dos indicadores brasileiros aplicados a rede elétrica chilena, percebe-se que ao longo do mês de setembro de 2018, segundo os parâmetros estabelecidos na Tabela 9, o sistema chileno apresenta um único evento, com duração de 3,6 segundos. Na Tabela 16 abaixo encontra-se os detalhes deste evento, com data e hora indicados de acordo com o UTC.

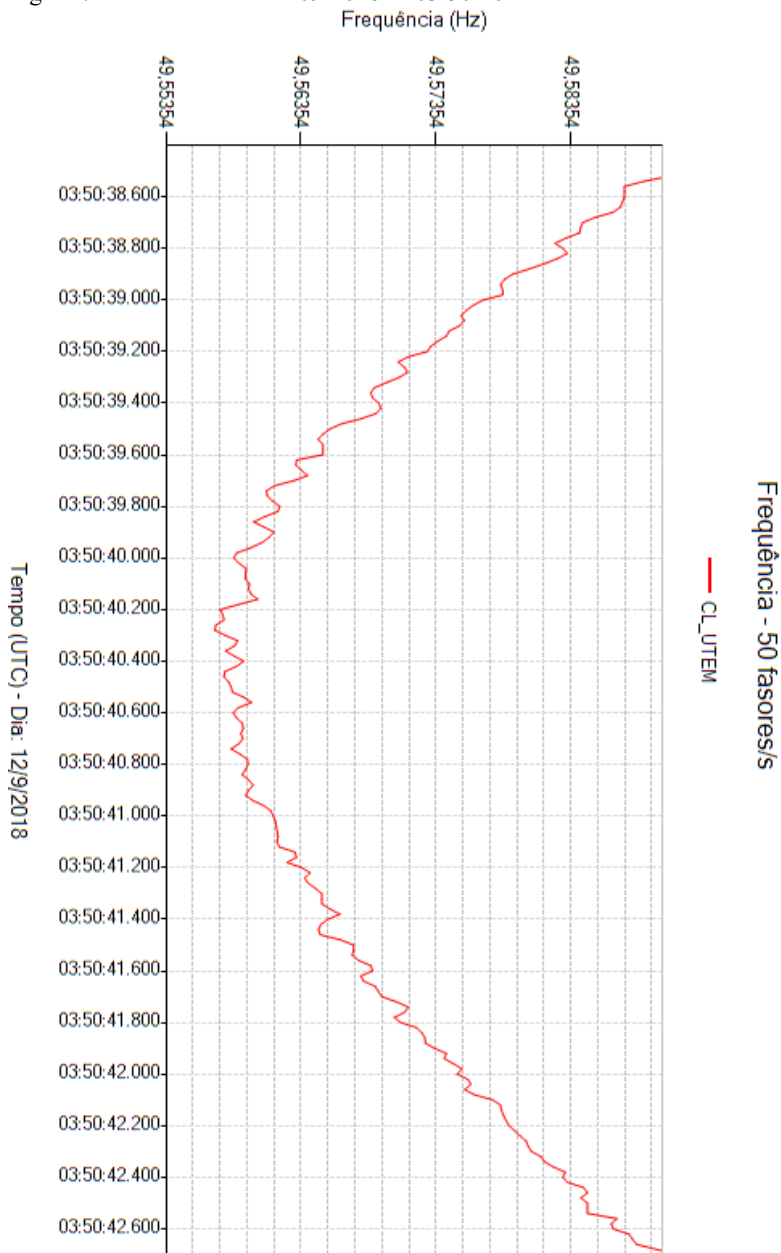
Tabela 16 – Valores de DFD - Agregação por Evento segundo o ADF – Fevereiro/2018

Data / Hora	Faixa de Frequência	Duração (seg.)	Desvio Máximo da Frequência (Hz)
12/09/2018 03:50:40	$48,7 \text{ Hz} \leq f < 49,6 \text{ Hz}$	3,6	49,56 Hz

Fonte: Autor.

Na Figura 7 a seguir pode-se observar este evento em maior detalhe.

Figura 7 – Evento do dia 12/09/2018 às 03:50:40



Fonte: Gráfico gerado pelo Aplicativo MedPlot.

4.3.3 Argentina

4.3.3.1 DFP1

Como mencionado anteriormente, para efeito de comparação, foi aplicado ao sistema de energia elétrica argentino o indicador para regime normal de operação utilizado no Brasil, o qual possui uma banda permissível menor (0,1 Hz). Nas tabelas a seguir pode-se observar os resultados obtidos para a agregação diária e mensal para o mês de setembro do ano de 2018.

Tabela 17 – Resultado DFP1 - Agregação Diária – Setembro/2018 – Referência PMU UNLP

Dia	Regime Normal de Operação		Distúrbio		Minutos	DFP (%)
	Sobrefreq.	Subfreq.	Sobrefreq.	Subfreq.		
1	0	45	0	0	1440	96,87
2	101	32	0	0	1440	90,76
3	23	101	0	0	1440	91,39
4	24	69	0	0	1440	93,54
5	15	86	0	0	1440	92,99
6	29	102	0	0	1440	90,90
7	3	59	0	0	1440	95,69
8	3	15	0	0	1440	98,75
9	18	36	0	0	1440	96,25
10	36	96	0	0	1440	90,83
11	67	66	0	0	1440	90,769
12	43	35	0	0	1440	94,58
13	110	26	0	0	1440	90,55
14	87	54	0	0	1440	90,21
15	53	35	0	0	1440	93,89
16	169	5	0	0	1440	87,92
17	59	48	0	0	1440	92,57
18	38	39	0	0	1440	94,65
19	68	15	0	0	1440	94,23
20	45	30	0	0	1440	94,79
21	49	69	0	0	1440	91,80
22	109	18	0	0	1440	91,18
23	71	0	4	0	1440	95,05
24	16	0	0	0	1440	98,89
25	51	1	0	0	1440	96,39
26	46	9	0	0	1440	96,18
27	6	27	0	0	1440	97,71
28	33	42	0	0	1440	94,79
29	27	44	0	0	1440	95,07
30	5	0	0	0	1440	99,65

Fonte: Autor.

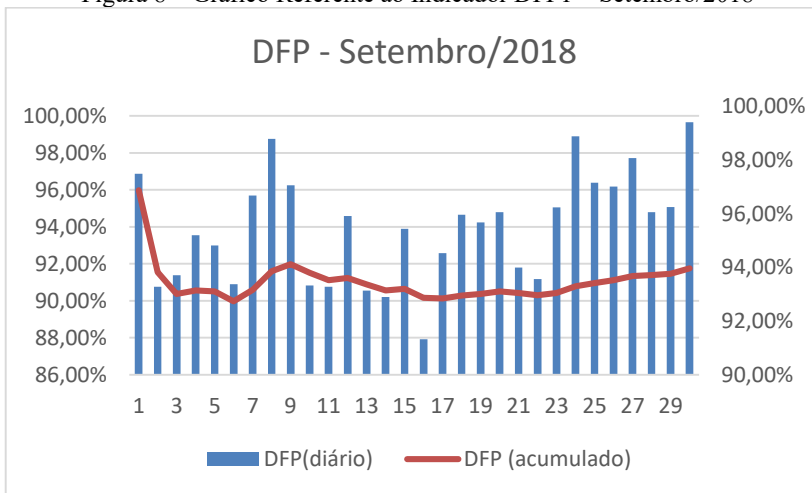
Tabela 18 – Resultado DFP1 - Agregação Mensal – Setembro/ 2018 – Referência PMU UNLP

Mês	Regime Normal de Operação		Distúrbio		Minutos	DFP (%)
	Sobrefreq.	Subfreq.	Sobrefreq.	Subfreq.		
9	1404	1204	4	0	43200	93,96

Fonte: Autor.

As tabelas apresentadas anteriormente são reproduzidas para melhor visualização dos resultados na Figura 8 abaixo.

Figura 8 – Gráfico Referente ao Indicador DFP1 – Setembro/2018



Fonte: Autor.

Observa-se que, na condição atual, o desempenho da frequência do sistema argentino não atende os critérios vigentes no sistema elétrico brasileiro.

4.3.3.2 DFP2

O chamado DFP2, apresenta os resultados de desempenho da frequência de acordo com os parâmetros reais imposto pelo país de origem do sistema de energia elétrica estudado nesta sessão. As tabelas abaixo representam tais resultados reais

Tabela 19 – Resultado DFP2 - Agregação Diária – Setembro/2018 – Referência PMU UNLP

Dia	Tempo em milissegundos	Minutos	DFP (%)
1	0	1440	100,00
2	511000	1440	99,41
3	2200	1440	99,99
4	35400	1440	99,96
5	29700	1440	99,96
6	33400	1440	99,96
7	240500	1440	99,72
8	21800	1440	99,97
9	0	1440	100,00
10	17600	1440	99,98
11	388800	1440	99,55
12	20800	1440	99,97
13	25800	1440	99,97
14	37300	1440	99,96
15	497500	1440	99,42
16	1723100	1440	98,00
17	459200	1440	99,47
18	537600	1440	99,38
19	54500	1440	99,94
20	12800	1440	99,98
21	34000	1440	99,96
22	103700	1440	99,88
23	1154000	1440	98,66
24	9900	1440	99,98
25	939300	1440	98,91
26	3000	1440	99,99
27	18700	1440	99,97
28	8100	1440	99,99
29	29700	1440	99,96
30	0	1440	100,00

Fonte: Autor.

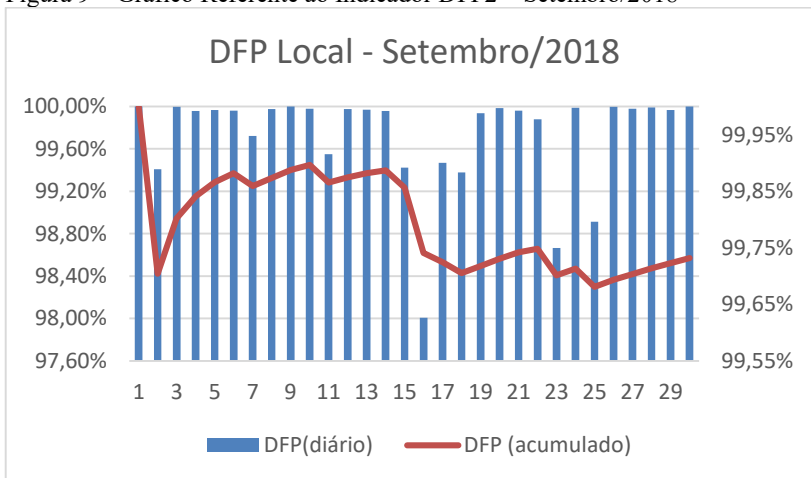
Tabela 20 – Resultado DFP2- Agregação Mensal – Setembro/2018 – Referência PMU UNLP

Mês	Tempo em milissegundos	Minutos	DFP (%)
9	6949400	43200	99,73

Fonte: Autor.

As tabelas apresentadas, podem ser demonstradas, em síntese, na Figura 9.

Figura 9 – Gráfico Referente ao Indicador DFP2 – Setembro/2018



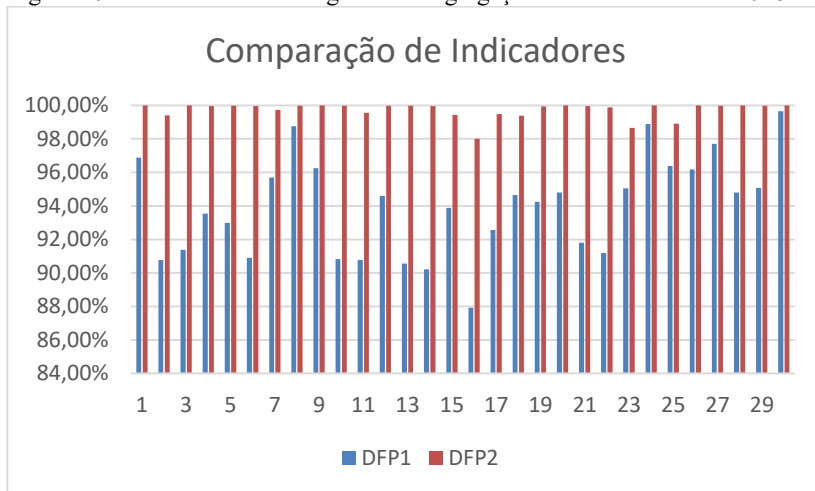
Fonte: Autor.

A partir dos critérios vigentes na Argentina para o desempenho da frequência, o sistema de energia elétrica do país encontra-se de acordo com o estabelecido.

4.3.3.3 DFP1 x DFP2

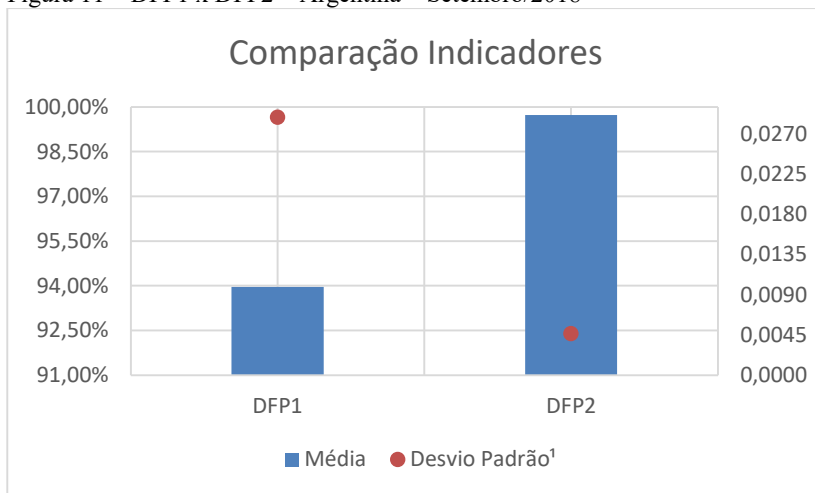
As figuras a seguir apresentam os indicadores calculados com o critério baseado na banda 0,1 Hz ao lado daquele calculados usando como referência a banda 0,2 Hz.

Figura 10 – DFP1 x DFP2 – Argentina – Agregação Diária – Setembro/2018



Fonte: Autor.

Figura 11 – DFP1 x DFP2 – Argentina – Setembro/2018



Fonte: Autor.

¹ – Desvio padrão com base na população inteira dada como argumentos.

4.3.3.4 DFD

No mês de setembro de 2018, na Argentina, de acordo com os parâmetros determinados na Tabela 9, no SADI houve um evento considerado de distúrbio. Na Tabela 21 estão apresentados os detalhes deste distúrbio, com data e hora indicados de acordo com o UTC.

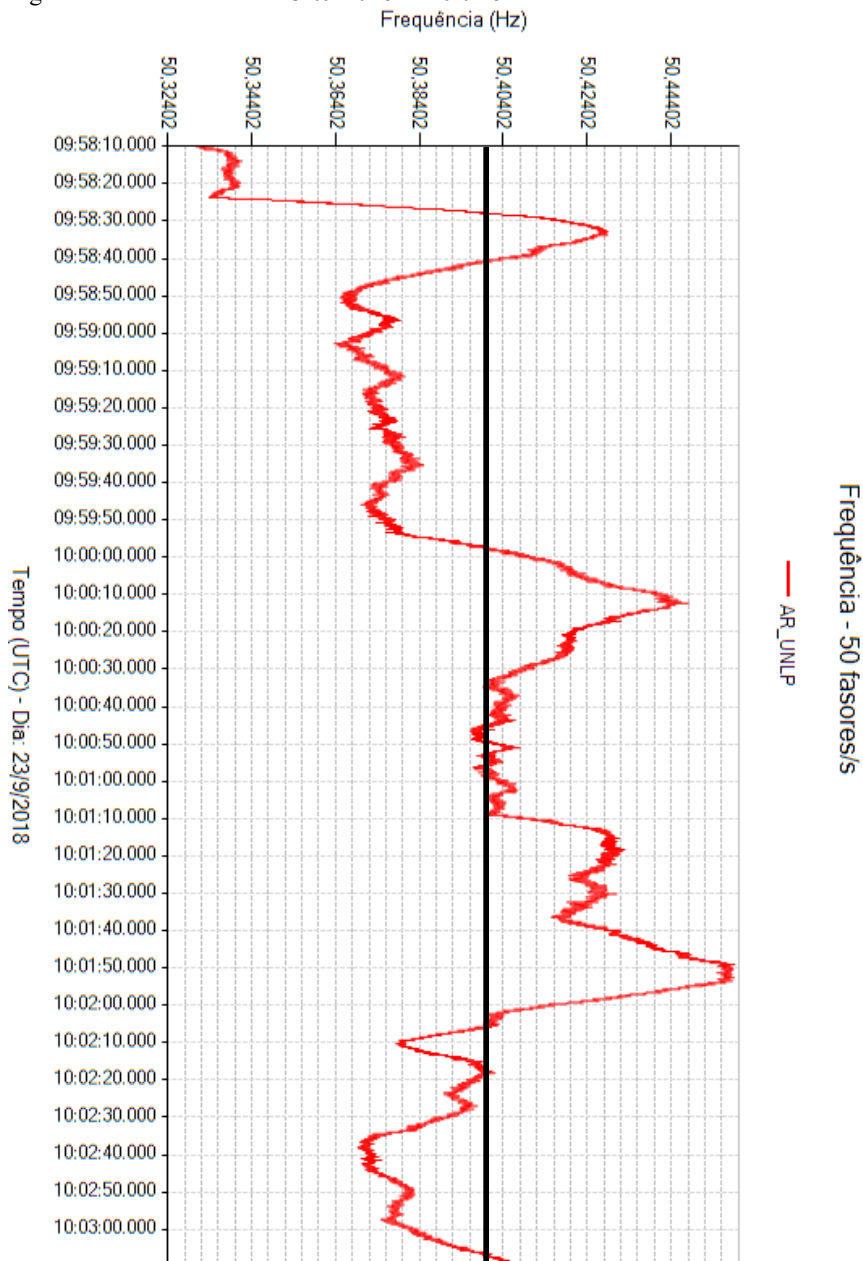
Tabela 21 – Valores de DFD - Agregação por Evento segundo ADF – Fevereiro/2018

Data / Hora	Faixa de Frequência	Duração (seg.)	Desvio Máximo da Frequência (Hz)
23/09/2018 10:01:50	50,4 Hz \leq f < 51,7 Hz	80,9	50,46 Hz

Fonte: Autor.

Na figura abaixo é possível observar o formato da onda gerada pela frequência fora das faixas delimitadas. Neste caso, percebe-se um evento não contínuo, que entra e sai das faixas impostas diversas vezes até que os controladores consigam ajustar a frequência de volta a valores aceitáveis em torno da frequência nominal. A linha indicada na imagem representa o limite da faixa de frequência aceitável para variações do sistema em regime normal de operação.

Figura 12 – Evento do dia 23/09/2018 às 10:01:51



Fonte: Gráfico gerado pelo Aplicativo MedPlot.

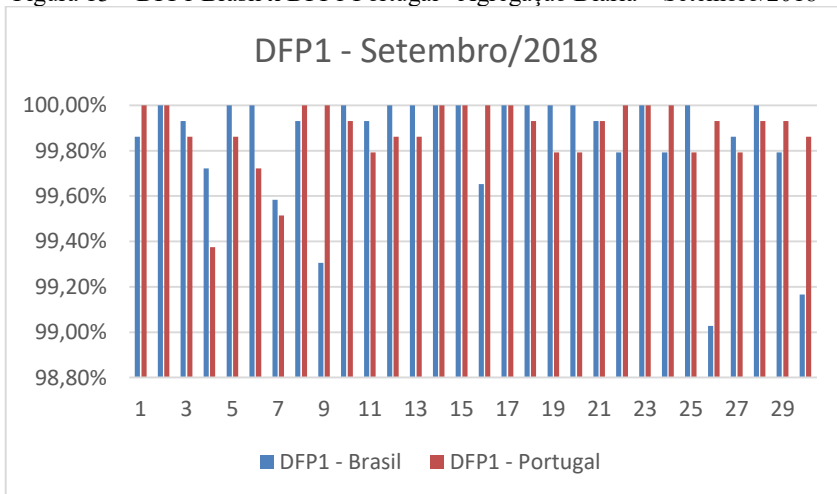
4.3.4 Portugal

Aproveitando a oportunidade de comparação, esta seção contém uma breve conferência entre os indicadores ‘DFP1’ aplicado ao sistema elétrico mais robusto, como o europeu com o do Brasil.

As medições foram tiradas de uma PMU em Portugal, mas especificamente localizada em Algarve, no instituto Superior de Engenharia (ISE).

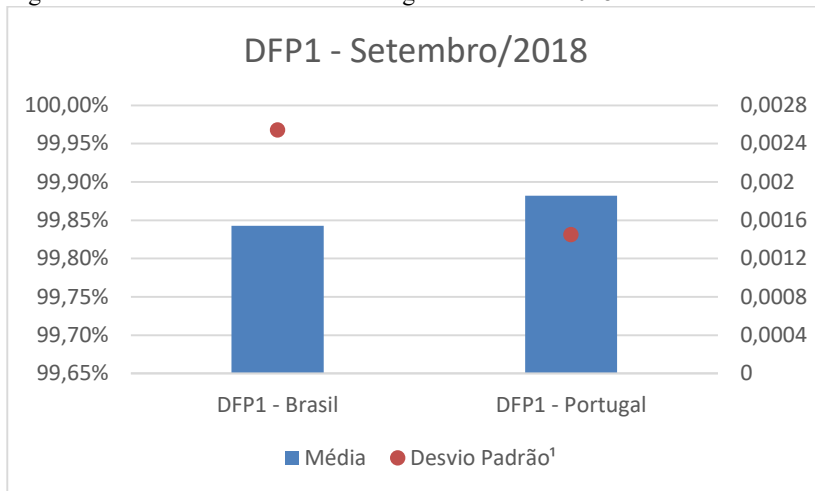
Nas figuras abaixo, percebe-se que no mês comparado, segundo o DFP1, o desempenho da frequência no Brasil é similar àquele observado no sistema de Portugal.

Figura 13 – DFP1 Brasil x DFP1 Portugal– Agregação Diária – Setembro/2018



Fonte: Autor.

Figura 14 – DFP1 Brasil x DFP1 Portugal – Setembro/2018



Fonte: Autor.

Esses gráficos indicam, que ao menos no mês de setembro de 2018 o desempenho da frequência do Brasil foi similar ao de Portugal, contendo apenas um pouca mais de desvio quando em comparação.

4.4 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

O desempenho da frequência do SEN sob contingência (de acordo com os indicadores brasileiros), ao longo do mês de setembro de 2018 pode ser considerado satisfatório, apesar de não termos um valor para os demais meses do ano. O tempo de duração deste evento foi pequeno o suficiente para supormos de que durante o ano de 2018 (caso o sistema elétrico tenha se comportado de maneira similar) não haveria infração do limite designado para este indicador.

Já em regime normal de operação, com o critério 1 o Chile apresentou valores fora dos aceitáveis, porém, o desempenho do controle da frequência calculado a partir do critério 2 apresenta resultados com altos índices de desempenho. Observa-se ainda, que a diferença no desvio do desempenho da frequência, próximo a zero de acordo com o DFP2 e igual a 0,029 com o DFP1.

No SADI, o distúrbio detectado teve uma duração bem maior, numa faixa de frequência com menor tolerância a este tipo de evento.

¹ – Desvio padrão com base na população inteira dada como argumentos.

Sendo assim, considera-se que na Argentina o resultado do indicador DFD não foi satisfatório.

Da mesma maneira que quando se observou o regime normal de operação do Chile, na Argentina, seus indicadores apresentam valores muito mais altos do que quando analisados pelo DFP1.

Quando se analisa os resultados dos três países de acordo com seus respectivos indicadores, percebe-se que o SEE chileno seria aquele com melhor desempenho de frequência e maior estabilidade do sistema elétrico. Contudo, se observar somente a partir do critério 1, que seria aquele com menor tolerância a variações, o Brasil é o país que apresenta os melhores resultados.

5 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido teve como objetivo o estudo do desempenho da frequência nos SEE de três diferentes países da América do Sul. Esta meta foi realizada através da análise dos indicadores sugeridos pelos operadores de cada país, com auxílio dos dados de sincrofasores provenientes dos sistemas de medição MedFasee Brasil, MedFasee Conosur e MedFasee Ibérico.

Para que se pudesse comparar adequadamente os desempenhos de cada rede, optou-se por aplicar os indicadores desenvolvidos para o Brasil, nos sistemas do Chile, da Argentina e Portugal. Porém, em prol da legitimidade dos resultados obtidos em relação ao desempenho da frequência nos sistemas chileno e argentino, também foi feita uma análise de acordo com seus respectivos indicadores.

O algoritmo desenvolvido para o cálculo dos indicadores de desempenho do controle da frequência apresentou resultados satisfatórios e tendo sido validado com os indicadores DFP e DFD encontrados no relatório gerencial dos indicadores de frequência do ONS.

A aplicação de um mesmo critério de desempenho do controle da frequência (DFP1 – faixa de frequência permitida igual 0,1 Hz) permitiu comparar os desempenhos dos sistemas elétricos do Brasil, Chile, Argentina e de Portugal. Essa comparação foi viável por conta da grande quantidade de registros de sincrofasores disponíveis no Projeto MedFasee. É importante observar, no entanto, que o desempenho do controle da frequência do Chile e da Argentina está de acordo com os padrões vigentes nesses países.

A análise da comparação do sistema elétrico europeu e do Brasil apresentam melhor desempenho do controle da frequência quando comparado àquela observada no Chile e na Argentina, no que se refere aos desvios da frequência em relação ao seu valor nominal.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que os SMSF (sistemas de medição sincronizada de fasores), em virtude da riqueza de informações disponibilizada, em particular o Projeto MedFasee, constitui uma adequada ferramenta para a análise do desempenho do controle da frequência em sistemas de energia elétrica.

5.1 TRABALHOS FUTUTROS

O estudo aqui desenvolvido deixa espaço para aprimorar o seu desenvolvimento e implementação metodológico. Podendo ainda ser adaptado para o uso em tempo real, ressaltando a necessidade de

automatização de diversos passos que, em decorrência do modo como o algoritmo foi desenvolvido, precisaram ser realizados manualmente.

REFERÊNCIAS

- [1] **LA RED DEL FUTURO: Desarrollo de una red eléctrica limpia y sostenible para América Latina.** Bogotá: Puntoaparte Bookvertising, 2017.
- [2] ZHANG, Ye. **Frequency Monitoring Network (FNET) Data Center Development and Data Analysis.** 2014. 134 f. Tese (Doutorado) - University Of Tennessee, Knoxville, 2014.
- [3] DECKER, Ildemar C.; VENTURINI, Lucas Fritzen. **O Projeto MedFasee Cone Sul.** Florianópolis: Labplan, 2017. Color.
- [4] VENTURINI, Lucas Fritzen; DECKER, Ildemar C.. **Medição Sincronizada de Fasores: Teoria e Aplicações.** Florianópolis, 2017.
- [5] FUSER, Igor. **Panorama da Integração Energética na América do Sul: Impasses e Perspectivas de Avanço.** Rio de Janeiro: Cebri, 2015.
- [6] VISCIDI, Lisa; YÉPEZ, Ariel. **The Energy Solution Latin America Needs.** Disponível em: <https://www.nytimes.com/2018/02/01/opinion/energy-grid-latin-america.html?rref=collection%2Fsectioncollection%2Fopinion&action=click&contentCollection=opinion@ion=stream&module=stream_unit&version=latest&contentPlacement=6&pgtype=sectionfront&ref=nyt-es&mcid=nyt-es&subid=article>. Acesso em: 01 fev. 2018.
- [7] PHADKE, A. G. Synchronized phasor measurements-a historical overview. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition. Anais...IEEE, 2002Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1178427/>>
- [8] CAMMESA. **ANEXO 23: LOS PROCEDIMIENTOS - ANEXO 23: REGULACION DE FRECUENCIA.** Buenos Aires, 2016. 18 p.
- [9] CAMMESA. **P.T. 9: Los Procedimientos P.T. 9: PARTICIPACIÓN DE GENERADORES EN EL SERVICIO DE REGULACIÓN DE FRECUENCIA DEL MEM.** Buenos Aires, 2014. 25 p.
- [10] Comisión Nacional de Energía. **NTSyCS: NORMA TÉCNICA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO.** Santiago, 2018. 183 p.

- [11] ACEVEDO, Christian; VILLALOBOS, Cristian. **Evaluación de costos de regulación de frecuencia**. 2016. 26 f. Monografía (Especialização) - Curso de Ingeniería Eléctrica, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 2016.
- [12] EPE. **Mudanças Climáticas e Desdobramentos sobre os Estudos de Planejamento Energético: Considerações Iniciais**. RJ, 2018. 22 p.
- [13] EPE. **Monitorando o Progresso da Eficiência Energética no Brasil: Indicadores e Análises Setoriais**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2017. 113 p. (Estudos de Eficiência Energética).
- [14] EPE. **RenovaBio: Biocombustíveis 2030**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2017. 18 p. (Papel dos biocombustíveis na matriz).
- [15] ARAÚJO NETO, Laércio Tavares de. **A AMPLIAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA ENTRE 1970 E 2009**. 83 f. Monografia (Especialização) - Curso de Economia, UFPE, Recife, 2011.
- [16] PERGHER, Heitor. **A POLÍTICA EXTERNA BRASILEIRA DE INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA NA AMÉRICA DO SUL: UMA ANÁLISE DOS ACORDOS ASSINADOS PELO BRASIL (1969-2010)**. 231 f. Monografia (Especialização) - Curso de Relações Internacionais, UFSC, Florianópolis, 2016.
- [17] Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira: 2018**. Brasília, 2018. 31 p.
- [18] EPE. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL: 2018**. Rio de Janeiro: Ben, 2018. 294 p.
- [19] Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia: 2027**. Brasília, 2018. 345 p.
- [20] MUÑOZ, Cristóbal. **Política y prospectiva energética para los próximos años**. Santiago: Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2017. 20 slides, color.
- [21] Ministério de Energía (Org.). **ENERGY 2050: Chile's Energy Policy**. Santiago: Gobierno de Chile, 2016. 154 p.

- [22] CÁRDENAS, Gerónimo J. **Matriz energética argentina. Situación actual y posibilidades de diversificación.** Revista de La Bolsa de Comercio de Rosario, Tucumán, 1514: p.32-36, 2011.
- [23] PROPATO, Tamara S; VERÓN, Santiago R. La matriz energética argentina y su impacto ambiental. **Researchgate**, Buenos Aires, v. 24, n. 144, p.31-36, jun. 2015.
- [24] GUZOWSKI, Dra. Carina. **ENERGÍAS RENOVABLES EN ARGENTINA:** Buenos Aires: Comité Académico de Energía, 2017. 36 slides, color.
- [25] Ministerio de Energía y Minería. **ENERGÍAS RENOVABLES EN ARGENTINA:** Buenos Aires: Subsecretaria de Energías Renovables Secretaría de Energía Eléctrica, 2016. 13 slides, color.
- [26] Matriz energética nacional y su vinculación con la región. **Consejo Asesor de Estrategia Energética Secretaría de Energía de La Nación**, Buenos Aires, p.82-89, 2013.
- [27] ONS. **RELATÓRIO GERENCIAL DOS INDICADORES DE FREQUENCIA:** DFP E DFD. Brasília: ONS, 2018. 30 p.
- [28] ONS. **SUBMÓDULO 2.8:** Gerenciamento dos indicadores de qualidade da energia elétrica da Rede Básica. Brasília, 2017. 32 p.
- [29] ONS. **SUBMÓDULO 23.3:** Diretrizes e critérios para estudos elétricos. Brasília, 2018. 112 p.
- [30] ONS. **SUBMÓDULO 25.6:** Indicadores de frequência e de tensão. Brasília, 2017. 7 p.
- [31] ANEEL. **PRODIST - MÓDULO 8:** Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Qualidade da Energia Elétrica. Brasília, 2018. 88 p.