

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA / ELETROTÉCNICA**

ANDRÉ GUSTAVO WEBER

**AVALIAÇÃO DO GANHO PREVISTO DE CONFIABILIDADE DEVIDO ÀS OBRAS
DESTINADAS A COPA DO MUNDO FIFA 2014 NA CIDADE SEDE DE CURITIBA**

CURITIBA

2016

ANDRÉ GUSTAVO WEBER

**AVALIAÇÃO DO GANHO PREVISTO DE CONFIABILIDADE DEVIDO ÀS OBRAS
DESTINADAS A COPA DO MUNDO FIFA 2014 NA CIDADE SEDE DE CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Diego Issicaba, PhD.

CURITIBA
2016

ANDRÉ GUSTAVO WEBER

AVALIAÇÃO DO GANHO PREVISTO DE CONFIABILIDADE DEVIDO ÀS OBRAS DESTINADAS A COPA DO MUNDO FIFA 2014 NA CIDADE SEDE DE CURITIBA

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 20 de setembro de 2016.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Dra.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Industrial Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Diego Issicaba, PhD
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Andrea Lucia Costa, Dra.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Annemarlen Gehrke Castagna, Dra.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paulo Cícero Fritzen
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Com certeza os parágrafos seguintes não atenderão todas as pessoas que de uma forma ou de outra tornaram possível a realização deste trabalho, bem como a finalização de mais uma fase em minha vida. Dessa forma, peço de antemão, desculpas àquelas que não se fazem presentes em forma de palavras, mas que se encontram em meus pensamentos e sentimentos de gratidão.

Agradeço primeiramente a Deus, pois, sem ele não seria possível a conclusão de mais essa etapa.

Em especial ao professor Diego Issicaba, por sua valiosa orientação, através de suas dicas e conselhos durante todo o projeto, bem como dos professores membros da banca examinadora, que contribuíram com relevantes observações e informações para conclusão do presente trabalho.

Aos familiares e amigos, que me apoiaram não só na elaboração do presente estudo, mas durante toda minha vida acadêmica, pois sem eles seria de grande pesar a conclusão deste desafio.

Por fim, mas não menos importante, à equipe da Companhia Paranaense de Energia (COPEL), em especial aos engenheiros Rodrigo Antônio Peniche e Sergio Augusto Corrêa, que auxiliaram com informações, dados e materiais para o desenvolvimento desse trabalho.

RESUMO

WEBER, André Gustavo. **Avaliação do ganho previsto de confiabilidade devido às obras destinadas a Copa do Mundo FIFA 2014 na cidade sede de Curitiba.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

O aumento crescente no consumo de energia elétrica em todos os setores da economia resulta na necessidade de um correto planejamento do sistema elétrico, de forma a garantir não só o fornecimento, como também manter o serviço dentro de parâmetros estabelecidos (no que diz respeito à confiabilidade) ao menor custo possível. Para isso, ANEEL, ONS e concessionárias de energia têm realizado diversos estudos ao longo dos anos. Porém, no caso da Copa do Mundo de 2014, surgiram situações e exigências atípicas no sistema elétrico brasileiro, resultando em projetos e obras específicas para tal fim. Sendo assim, este Trabalho de Conclusão de Curso aborda principalmente a análise de confiabilidade para subsistemas da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) alvo de obras destinadas ao atendimento dos requisitos para realização da Copa em Curitiba.

Palavras-Chave: Copa do Mundo. Confiabilidade. Curva de Carga. Planejamento Energético

ABSTRACT

WEBER, André Gustavo. **Evaluation of projected gains in reliability of electrical from the works for the World Cup FIFA 2014 in the city of Curitiba.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

The increase in electricity consumption in all sectors of the economy results in the need for proper planning of the electrical system in order to ensure not only the continuity of supply , but also a service within established parameters (with regard to reliability) at the lowest possible cost. For this accomplishment ANEEL, ONS and utilities have been conducted several studies and system analysis over the years. However, in the case of the World Cup in 2014, atypical situations and requirements in the Brazilian electrical system, resulting in projects and specific works especially dedicated to the event. Thus, this work mainly addresses the reliability analysis for subsystems of the Companhia Paranaense de Energia (COPEL) which have been upgrade in orden to meet the requirements for holding the Cup in Curitiba.

Keywords: World Cup. Reliability. Load Curve. Energy Planning

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Acordo estabelecido entre a FIFA e a CBF em 31/01/2007	20
Figura 2.1: Opção de sistema de energia 01.....	25
Figura 2.2: Opção de sistema de energia 02.....	26
Figura 2.3: Esquema geral de fornecimento de energia ao estádio	27
Figura 2.4: Esquema geral de atendimento à região dos estádios.....	28
Figura 2.5: Orientação do campo	29
Figura 2.6: Altura de montagem de dispositivos de iluminação.....	29
Figura 2.7: Exemplo de atendimento do estádio próximo ao sistema de distribuição	31
Figura 2.8: Exemplo de obras necessárias ao atendimento da FIFA para estádio próximo ao sistema de distribuição	31
Figura 2.9: Exemplo de atendimento do estádio distante do sistema de distribuição	32
Figura 2.10: Exemplo de obras necessárias ao atendimento da FIFA para estádio distante do sistema de distribuição	32
Figura 2.11: Diagrama simplificado de suprimento do estádio Arena da Baixada em Curitiba.....	34
Figura 2.12: Diagrama de suprimento do estádio Arena da Baixada em Curitiba.....	35
Figura 2.13: Diagrama unifilar da região metropolitana de Curitiba	36
Figura 2.14: Localização da subestação Batel e estádio Arena da Baixada	37
Figura 2.15: Localização da subestação Parolin	37
Figura 2.16: Visão geral do estádio e subestações Batel e Parolin.....	38
Figura 2.17: Trajeto dos alimentadores do estádio Arena da Baixada	39
Figura 2.18: Mapa geológico do estado do Paraná – Ano 2012	43
Figura 2.19: Detalhe Curitiba e região metropolitana – Ano 2012.....	44
Figura 2.20: Mapa geológico do estado do Paraná – Ano 2014	45

Figura 2.21: Detalhe Curitiba e região metropolitana – Ano 2014.....	46
Figura 2.22: Detalhe Curitiba e região metropolitana com as obras relacionadas à Copa do Mundo FIFA 2014	48
Figura 3.1: Etapas de uma análise de confiabilidade	52
Figura 3.2: Níveis hierárquicos.....	53
Figura 3.3: Níveis hierárquicos – Modelo atual	54
Figura 3.4: Níveis hierárquicos – Modelo atual com geração distribuída	55
Figura 3.5: Representação de um sistema no nível NH1	56
Figura 3.6: Representação de um sistema no nível NH2	56
Figura 3.7: Representação de um sistema no nível NH3	57
Figura 3.8: Representação simplificada da sequência de eventos durante um período T.....	60
Figura 3.9: Modelo de Markov com dois estados	62
Figura 3.10: Tela do programa ANAREDE.....	72
Figura 3.11: Tela do programa NH2.....	75
Figura 4.1: Comportamento da carga no SIN em 12/06/2014.....	79
Figura 4.2: Comportamento da carga no Submercado Sul em 12/06/2014	80
Figura 4.3: Comportamento da carga no SIN em 17/06/2014.....	82
Figura 4.4: Comportamento da carga no Submercado Sul em 17/06/2014	83
Figura 4.5: Comportamento da carga no SIN em 23/06/2014.....	84
Figura 4.6: Comportamento da carga no Submercado Sul em 23/06/2014	85
Figura 4.7: Comportamento da carga no SIN em 28/06/2014.....	86
Figura 4.8: Comportamento da carga no Submercado Sul em 28/06/2014	88
Figura 4.9: Comportamento da carga no SIN em 04/07/2014.....	89
Figura 4.10: Comportamento da carga no Submercado Sul em 04/07/2014	90
Figura 4.11: Comportamento da carga no SIN em 08/07/2014.....	92

Figura 4.12: Comportamento da carga no Submercado Sul em 08/07/2014	94
Figura 4.13: Comportamento da carga no SIN em 12/07/2014	95
Figura 4.14: Comportamento da carga no Submercado Sul em 12/07/2014	96
Figura 4.15: Comportamento da carga na região metropolitana de Curitiba em 16/06/2014	98
Figura 4.16: Comportamento da carga na região metropolitana de Curitiba em 20/06/2014	98
Figura 4.17: Comportamento da carga na região metropolitana de Curitiba em 23/06/2014	99
Figura 4.18: Comportamento da carga na região metropolitana de Curitiba em 26/06/2014	99
Figura 4.19: Detalhe do diagrama elétrico da COPEL no mês de março de 2013 ..	102
Figura 4.20: Detalhe do diagrama elétrico da COPEL no mês de fevereiro de 2015	103
Figura 4.21: Relatório de dados de circuitos CA do sistema	108
Figura 4.22: Detalhe do diagrama unifilar mostrando a SED Santa Quitéria	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Características avaliadas para serviço de entrada de energia	24
Tabela 2.2: Plano de obras com vistas ao atendimento da Copa do Mundo da FIFA 2014	40
Tabela 3.1: Classificação do risco pela severidade.....	67
Tabela 3.2: Programas de planejamento e operação para a energia elétrica	68
Tabela 3.3: Programas de confiabilidade global disponíveis no Brasil.....	69
Tabela 4.1: Jogos da seleção brasileira	78
Tabela 4.2: Horários considerados para o planejamento energético de 04/07/2014	91
Tabela 4.3: Jogos da Copa do Mundo FIFA 2014 realizados em Curitiba/PR	97
Tabela 4.4: Cenários para análise de confiabilidade.....	104
Tabela 4.5: Índices de confiabilidade do cenário 01	109
Tabela 4.6: Índices de confiabilidade do cenário 02.....	110
Tabela 4.7: Ponta de carga do sistema (PS).....	111
Tabela 4.8: Índices de confiabilidade do cenário 03.....	113
Tabela 4.9: Comparativo dos resultados	114

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

- ANAREDE – Análise de Redes Elétricas
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
- COPEL – Companhia Paranaense de Energia
- EENS – *Expected Energy Not Supplied*
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética
- EPNS – *Expected Power Not Supplied*
- FIFA – Fédération Internationale Football Association
- FCC – FIFA Confederations Cup
- FWC – FIFA World Cup
- GA – Gás Automatizada
- GIS – Gas-insulated switchgear (disjuntor isolado a gás)
- LDAT – Linha de Distribuição Aérea em Alta Tensão
- LOLC – *Loss of Load Cost*
- LOLD – *Loss of Load Duration*
- LOLE – *Loss of Load Expectation*
- LOLF – *Loss of Load Frequency*
- LOLP – *Loss of Load Probability*
- MME – Ministério de Minas e Energia
- NH1 – Nível Hierárquico 1
- NH2 – Nível Hierárquico 2
- NH3 – Nível Hierárquico 3
- ONS – Operador Nacional do Sistema
- SED – Subestação de Distribuição
- TCU – Tribunal de Contas da União
- UPS – Fonte de Alimentação Ininterrupta (Uninterruptible Power Supply)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA	14
1.1.1 Delimitação do Tema	16
1.2 PROBLEMAS E PREMISAS	16
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 Objetivo Geral	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
1.4 JUSTIFICATIVA	18
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2 INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA PARA A REALIZAÇÃO DA COPA DO MUNDO FIFA 2014 NAS CIDADES SEDE	23
2.1 REQUISITOS MÍNIMOS EXIGIDOS PELA FIFA	23
2.1.1 Alimentação de Energia dos Estádios	23
2.1.2 Exigências de Infra-estrutura dos Estádios e Arredores	28
2.1.2.1 Localização e Orientação do Campo.....	28
2.1.2.2 Iluminação do Estádio	29
2.1.2.3 Demais Exigências	30
2.2 OBRAS REALIZADAS.....	30
2.2.1 Aspectos Gerais.....	30
2.2.2 Alimentadores do Estádio Arena da Baixada.....	33
2.2.3 Demais obras no Sistema Elétrico da COPEL.....	39
2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
3 INDICADORES DE CONFIABILIDADE PARA SISTEMAS DE POTÊNCIA.....	49
3.1 CONCEITOS BÁSICOS RELACIONADOS À CONFIABILIDADE.....	49

3.1.1 Definição de Confiabilidade	49
3.1.2 Teoria da Confiabilidade	51
3.1.3 Níveis Hierárquicos.....	52
3.1.4 Métodos de Seleção de Estados	57
3.1.4.1 Enumeração de Estados	58
3.1.4.2 Simulação Monte Carlo	59
3.1.5 Índices de Confiabilidade.....	63
3.1.5.1 LOLP	64
3.1.5.2 LOLE	64
3.1.5.3 LOLF	65
3.1.5.4 LODD	65
3.1.5.5 LOLC	65
3.1.5.6 EPNS.....	66
3.1.5.7 EENS.....	66
3.1.5.8 Severidade	66
3.2 FERRAMENTAS E MÉTODOS DISPONÍVEIS PARA ANÁLISE DA CONFIABILIDADE	67
3.2.1 Programa ANAREDE.....	70
3.2.2 Programa NH2.....	73
3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
4 SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS	77
4.1 COMPORTAMENTO DA CURVA DE CARGA.....	77
4.1.1 Jogos da Seleção Brasileira de Futebol.....	78
4.1.1.1 Brasil x Croácia	78
4.1.1.2 Brasil x México	81

4.1.1.3 Brasil x Camarões	84
4.1.1.4 Brasil x Chile.....	86
4.1.1.5 Brasil x Colômbia.....	89
4.1.1.6 Brasil x Alemanha.....	91
4.1.1.7 Brasil x Holanda	95
4.1.2 Jogos na Cidade de Curitiba.....	97
4.2 SIMULAÇÕES E RESULTADOS DOS ÍNDICES DE CONFIABILIDADE	101
4.2.1 Cenários Considerados	104
4.2.2 Considerações acerca dos cenários.....	105
4.2.2.1 Situação de carregamento do sistema	105
4.2.2.2 Dia da semana	105
4.2.2.3 Carga do sistema elétrico	106
4.2.2.4 Período do ano	106
4.2.2.4 Operação de linhas ou equipamentos do sistema.....	106
4.2.3 Resultados Obtidos.....	109
4.2.3.1 Comparativo dos resultados obtidos	114
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
5.1 CONCLUSÕES	116
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	118
REFERÊNCIAS.....	119
ANEXOS	124

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

No ano de 1900, na Olimpíada de Paris, estreava para o cenário internacional um esporte denominado futebol, que possui sua origem imprecisa até os dias de hoje, uma vez que as civilizações antigas já praticavam esportes com bolas, porém sem as regras e formas do futebol conhecidas na atualidade.

Segundo a Gazeta do Povo (2006) o esporte era apenas de apresentação, sem concorrer a medalhas. Porém, atraiu milhares de espectadores aos estádios. Em particular, tal apelo chamou a atenção de franceses e belgas para a criação de uma entidade que pudesse organizar jogos do gênero entre as seleções europeias.

Dessa forma, em 1904 surgia a *Fédération Internationale Football Association*, a FIFA, que possui como objetivo a melhora constante do futebol como esporte, além da organização dos eventos e torneios relacionados ao futebol e derivados, assim como a elaboração de regulamentos e disposições necessárias ao bom andamento dos campeonatos futebolísticos e derivados do mesmo (FIFA, 2012).

A primeira Copa do Mundo ocorreu em 1930, no Uruguai, tornando-se nos anos seguintes o maior torneio do mundo de uma só modalidade esportiva. Entre os diversos países que sediaram a competição pode-se citar a Alemanha, Inglaterra, Itália, França, Suíça, Argentina, Brasil, entre outros.

No ano de 2014, o Brasil sediou pela segunda vez uma Copa do Mundo. Para tanto, fizeram-se necessários investimentos do governo federal e estadual em diferentes setores da economia. De modo a facilitar o acompanhamento na aplicação dos recursos, o governo brasileiro subdividiu tais investimentos em grandes grupos, dos quais se podem citar: hotelaria, saúde, infra-estrutura, entre outros.

No que tange o suprimento de energia elétrica, parte integrante do pacote de investimentos relativos à infra-estrutura, ressaltam-se os investimentos para a adequação de estruturas já existentes, e em alguns casos, a ampliação dos sistemas de energia elétrica, de forma a garantir o adequado fornecimento de energia elétrica a todos os consumidores. Além disso, procedimentos operativos

foram revistos, a fim de garantir a confiabilidade e qualidade do serviço de fornecimento de energia aos consumidores durante os eventos da Copa do Mundo. Enfatiza-se que, embora os investimentos tenham sido destinados ao atendimento de requisitos para o evento, os mesmos têm impactos na confiabilidade prevista para o sistema nos próximos anos.

Destaca-se que, segundo Andrade (2007), a confiabilidade em engenharia pode ser definida como a probabilidade de um componente ou sistema executar funções previamente determinadas por um determinado período de tempo e ainda sob certas condições operativas.

Com relação aos sistemas elétricos de potência, Andrade (2007) enfatiza que:

“Um dos principais objetivos do planejamento e operação de sistemas de potência é atingir um certo grau de confiabilidade no suprimento de energia elétrica aos consumidores. A fim de atingir este objetivo, planos de investimento e estratégias de operação precisam prever a possibilidade de ocorrência de falhas dos componentes e outros distúrbios no sistema, para estimar se a qualidade e continuidade do suprimento, medidas por vários índices de confiabilidade, permanecerão dentro dos níveis satisfatórios”.

Segundo Borges (2005), a confiabilidade de sistemas de potência pode ser determinada com relação a dois aspectos: a adequação do sistema e a segurança do sistema, sendo o primeiro relativo à existência de recursos para satisfazer a demanda de carga dos consumidores, assim como os requisitos operativos do sistema. Já o segundo aspecto, relativo à segurança, está relacionado com a habilidade de o sistema responder a distúrbios dinâmicos ou transitórios que possam ocorrer no sistema.

Como a Copa do Mundo exigiu projetos específicos, como por exemplo, a dupla alimentação nos estádios (redundância de sistemas), espera-se um aumento na confiabilidade, uma vez que uma forma clássica de aumentar a confiabilidade é a adoção de sistemas de reserva ou recursos em paralelo. Porém o aumento no número de componentes aumenta a complexidade do sistema, podendo desta forma, ao contrário do que se espera inicialmente, ocorrer a diminuição da confiabilidade (ANDRADE, 2007).

Por esses motivos, percebe-se a importância de uma análise formal de confiabilidade do sistema elétrico brasileiro, com o propósito de identificar impactos

de obras destinadas ao atendimento de critérios especificados pelo comitê responsável pela Copa do Mundo.

1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho possui como foco principal a análise dos ganhos previstos de confiabilidade acarretados por obras realizadas nos sistemas da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) para a realização da Copa do Mundo na cidade de Curitiba. Para tanto, será necessária a aquisição de conhecimentos básicos relativos aos projetos e planejamentos realizados especificamente para a Copa do Mundo 2014, quer em âmbito nacional ou local.

Além de tais conhecimentos, será necessária a obtenção de dados referentes ao planejamento das redes, bem como acerca das obras executadas especificamente pela concessionária de energia da cidade de Curitiba, a fim de possibilitar a análise dos níveis de confiabilidade existentes antes das obras e compará-las com índices previstos após a realização da Copa do Mundo. Vale lembrar que, dado o grande número de obras executadas em Curitiba, foram escolhidos para avaliação da confiabilidade os subsistemas que sofreram intervenções destinadas ao atendimento da Copa do Mundo.

Informações preliminares acerca das obras supracitadas foram obtidas a partir de contatos realizados junto à COPEL.

Como ferramenta de auxílio serão utilizados, nos casos julgados necessários, os *softwares* Microsoft Excel, Scilab, ANAREDE e NH2, assim como outros *softwares* conforme o caso, para a realização de análises de confiabilidade, operação em regime permanente e avaliação de resultados.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Os sistemas de potência constituem elemento básico no desenvolvimento econômico e social das sociedades modernas (BORGES, 2005). Por razões técnicas e econômicas tais sistemas evoluíram de conjuntos isolados para o sistema tal como se conhece atualmente.

Desta forma, o correto planejamento e posterior operação tornam-se indispensáveis, principalmente quando se consideram as dimensões do sistema

brasileiro, ou até mesmo o sistema pertencente à COPEL, que atende ao estado do Paraná quase em sua totalidade.

Ainda sobre este aspecto, Borges (2005) afirma:

“O elevado número de componentes, geograficamente distribuídos por todo um país, associado com as incertezas na demanda de potência e disponibilidade de recursos energéticos, tornam o projeto e operação destes sistemas uma tarefa altamente complexa.”

Com relação à disponibilidade, o ideal seria que o fornecimento ocorresse de forma ininterrupta. Porém a ocorrência de falhas em determinados sistemas ou equipamentos pode desencadear perturbações capazes de afetar um número significativo de consumidores (BORGES, 2005).

A fim de reduzir a probabilidade de falhas, a frequência de ocorrência e a duração de tais eventos, torna-se necessário um investimento financeiro (que muitas vezes possui um valor elevado), no sentido de aumentar a confiabilidade do sistema.

Cabe lembrar que a falta de investimentos no setor elétrico força a operação do sistema próximo aos seus limites operativos, aumentando a necessidade de análise com relação aos riscos de interrupção ou degradação da qualidade do suprimento de energia, os quais podem comprometer os índices de confiabilidade do sistema (BORGES, 2005).

Portanto, percebe-se a importância do correto planejamento, ainda mais no caso de grandes eventos desportivos no país, como a Copa do Mundo 2014, que além dos jogos da seleção brasileira, contou com jogos em diversas cidades em toda a extensão nacional.

Sendo assim, esse trabalho possui como foco principal a verificação e análise das ações realizadas, assim como a análise dos ganhos previstos nos índices de confiabilidade das redes de distribuição da COPEL, devido às obras destinadas a Copa do Mundo, realizada no Brasil em 2014.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo de confiabilidade preditiva para avaliar os impactos provocados em índices de confiabilidade de subsistemas da concessionária de energia da cidade de Curitiba provenientes das obras destinadas à Copa do Mundo FIFA 2014.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar e analisar dados históricos da operação do sistema, além de ações preparatórias realizadas com o fim de garantir o atendimento aos consumidores da COPEL durante os jogos da Copa do Mundo 2014;
- Levantar e estudar modelos de avaliação de indicadores de confiabilidade e adequação de serviço com o fim de estimar níveis de confiabilidade de subsistemas da COPEL;
- Avaliar o ganho de confiabilidade proveniente das obras destinadas à Copa do Mundo em subsistemas da COPEL.

1.4 JUSTIFICATIVA

A confiabilidade no suprimento de energia é um componente essencial das economias industriais, já que incertezas quanto à capacidade de atendimento a demanda acarreta em paralisação nas decisões de investimentos, que por vezes são primordiais para o crescimento econômico do país (OLIVEIRA, 2013).

Aliado a isso, a definição dos custos relacionados à interrupção no fornecimento de energia vem merecendo especial atenção dos especialistas do setor. Neste aspecto Borges (2005) nos diz:

“Deve-se avaliar o quanto é interessante investir na confiabilidade do sistema em função do custo de investimento em si e do custo de interrupção para o consumidor e para as empresas fornecedoras de energia elétrica”.

Segundo Andrade (2007), nesse novo cenário do sistema elétrico, a avaliação da confiabilidade é de fundamental importância, principalmente para o fechamento de contratos com grandes consumidores, além da determinação dos custos adicionais associados à interrupção do fornecimento.

A reestruturação com que o setor elétrico se encontra nos dias atuais introduz novas preocupações com relação à confiabilidade do sistema. Dentre elas pode-se citar o impacto da interconexão de geradores distribuídos na confiabilidade dos sistemas de potência. Tais aspectos demandam uma análise mais detalhada que a convencional, de modo a verificar com maior propriedade os reais índices de confiabilidade.

Vale ressaltar que as concessionárias de energia são responsáveis pela manutenção de seus índices de continuidade e qualidade (DIC, FIC, DMIC, LOLP, LOLE, etc.) estabelecidos pela ANEEL através dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), na sua última versão aprovados através da Resolução Normativa nº 641/2014, que prevê uma compensação financeira aos consumidores no caso de descumprimento de tais índices.

Além das justificativas apresentadas anteriormente, deve-se lembrar que no caso da Copa do Mundo FIFA 2014, além das partidas da seleção brasileira, ocorreram jogos de outras seleções em todo o território nacional, acarretando desta forma, a necessidade de adequações nos sistemas de energia elétrica já existentes nas cidades sede dos jogos, provocando assim uma alteração do nível de confiabilidade das redes elétricas brasileiras.

Com relação a tais adequações, a primeira exigência da FIFA para a realização dos jogos no Brasil foi a dupla alimentação dos estádios em que ocorreriam os jogos, tendo como objetivo garantir o fornecimento de energia ininterrupto durante a realização dos jogos, conforme se observa na Figura 1.1.



Figura 1.1: Acordo estabelecido entre a FIFA e a CBF em 31/01/2007
Fonte: Simpósio Jurídico das Empresas do Setor Elétrico (2012)

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2013), para os estádios utilizados na Copa do Mundo, a alimentação elétrica deveria ser proveniente de sistemas independentes, ou seja, ser efetuada através de duas subestações distintas.

Além da dupla alimentação dos estádios, a realização da Copa do Mundo 2014 no Brasil exigiu outros planejamentos no setor elétrico, quais sejam: expansão do sistema nacional e local, análise histórica dos dados de consumo durante a realização de eventos de grande repercussão, previsão de cargas durante os jogos nas cidades sedes, reforço nas linhas de distribuição das concessionárias, alimentação dos canteiros de obras durante a construção ou reformas dos estádios de futebol, entre outros.

Desta forma, percebe-se a importância do estudo a respeito dos impactos gerados pela Copa do Mundo 2014 nos sistemas das cidades sede no sul do país, a fim de garantir a qualidade e operação dos mesmos, assim como a análise dos benefícios gerados pelas obras decorrentes de tal evento desportivo.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o tema proposto, de modo a obter os dados disponíveis na literatura.

Após a etapa de levantamento preliminar de dados, foram verificados e analisados os planejamentos e ações realizadas pela concessionária da cidade sede de Curitiba.

Para tanto, foram estudados os projetos desenvolvidos durante a etapa de planejamento, nos anos que antecederam a Copa do Mundo 2014, além do levantamento de obras e reformas realizadas em estruturas do sistema da concessionária, de modo a garantir não só o atendimento das cargas a eles ligadas, como os padrões e exigências da FIFA.

Em seguida, foram analisados e interpretados os resultados da operação tanto nos dias de jogos da seleção brasileira quanto nos dias de jogos em Curitiba uma das cidades sede da região sul.

Na sequência, foram levantados e estudados modelos de avaliação de indicadores de confiabilidade de redes. A partir desse levantamento, foi aplicado um modelo de avaliação de indicadores de confiabilidade e adequação de serviço com o intuito de estimar os níveis de confiabilidade nos subsistemas da COPEL. Tal modelo foi utilizado para avaliar indicadores previstos para os anos subsequentes após as obras supracitadas.

Para finalizar, é apresentada uma discussão sobre os dados e resultados obtidos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho é descrita a seguir:

Capítulo 1: Introdução: Contém a apresentação do trabalho, tema, delimitação do tema, problemas, justificativas, objetivos e procedimentos metodológicos para a realização do mesmo.

Capítulo 2: Infra-estrutura necessária para a Realização da Copa do Mundo FIFA 2014 nas Cidades Sede: Serão apresentadas as exigências da FIFA e os planejamentos realizados para o evento com foco na cidade sede de Curitiba.

Capítulo 3: Indicadores de Confiabilidade para Sistemas de Potência: Contém a revisão dos modelos existentes, análise das premissas a serem adotadas, conceitos

relacionados à Teoria de Confiabilidade aplicada aos sistemas elétricos de potência, assim como os métodos e ferramentas utilizadas para o modelo de avaliação do presente estudo.

Capítulo 4: Simulações e Análise dos Resultados: Neste capítulo serão apresentadas as simulações realizadas, os resultados obtidos durante os jogos na cidade sede de Curitiba e dias de jogos do Brasil e resultados da avaliação de índices de confiabilidade nos subsistemas de energia da COPEL na cidade de Curitiba.

Capítulo 5: Considerações Finais: Serão apresentadas as conclusões finais do trabalho, assim como as sugestões para trabalhos futuros.

2. INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA PARA A REALIZAÇÃO DA COPA DO MUNDO FIFA 2014 NAS CIDADES SEDE

Este capítulo apresenta os requisitos mínimos que foram exigidos pela FIFA para realização da Copa do Mundo de 2014 no Brasil no que tange a energia elétrica, as obras desenvolvidas a fim de alcançar tais objetivos, assim como os procedimentos adotados pela COPEL para que tais requisitos fossem atendidos e o fornecimento de energia elétrica à população não fosse comprometido.

2.1 REQUISITOS MÍNIMOS EXIGIDOS PELA FIFA

Em seus regimentos internos, a FIFA preconiza diversas condições que os países sede de competições devem atender, seja o evento com nível de abrangência nacional ou internacional, de forma a manter uma padronização de informações e modelos. Dentre as condições citam-se: segurança nos estádios, orientação geográfica do campo, tamanho dos assentos, iluminação e energia, área de jogo, instalações temporárias, mídia e comunicação, entre outros.

No que tange a energia elétrica, as obrigações principais e gerais são: alimentação de energia, especificações e tecnologia de projeto elétrico, impacto ambiental e comissionamento da instalação (FIFA, 2011).

Para a Copa do Mundo FIFA 2014, a entidade apresentou suas exigências mínimas a serem implantadas nas cidades-sede através do documento “*Hosting Agreement FWC 2014*”, assinado no ano de 2007 (TCU, 2013).

2.1.1 ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA DOS ESTÁDIOS

Segundo a FIFA (2011), é inadmissível o atraso ou cancelamento de um evento decorrente da falta de energia elétrica. Por esse motivo, ela ressalta a importância em se manter a continuidade do serviço disponível, bem como a necessidade de serviços redundantes e fontes de energia locais para fornecer suportabilidade a falhas, bem como sistemas de reserva para o caso de falta de energia.

Nesse aspecto, a avaliação da confiabilidade da fonte de energia ajuda na determinação da quantidade, capacidade e tamanho dos equipamentos de reserva (FIFA, 2011). A Tabela 2.1 apresenta as características comumente analisadas:

Tabela 2.1: Características avaliadas para serviço de entrada de energia

SERVIÇO DE ENTRADA	CONFIABILIDADE
Serviço Aéreo	(-)
Serviço Subterrâneo	(+)
Equipamento de conversão de alta para baixa frequência por utilidade ⁽¹⁾	(0)
Equipamento de conversão de alta para baixa frequência por cliente ⁽¹⁾	(+)
Falta de energia menos de dez vezes por ano	(0)
Falta de energia acima de dez vezes por ano	(-)
Maioria das faltas de energia devido à manutenção	(-)
Maioria das faltas de energia devido a intempéries	(0)
Serviços de energia provenientes de duas ou mais fontes	(+)
Serviço de energia com alimentação radial dedicada	(0)
Serviço de energia com alimentação radial compartilhada	(-)
O Grau de Confiabilidade: (+) Representa um projeto ou condição preferencial (0) Representa o sistema padrão ou comum (-) deve ser evitado se possível, exigindo uma maior quantidade de equipamentos de reserva (1) Trata-se de alimentação através de inversores de frequência (não comum no Brasil)	

Fonte: FIFA (2011)

Mais especificamente em relação ao serviço de energia (alimentação do estádio e todas as suas áreas afins), a FIFA especifica que:

“O serviço de energia pode ser ligado em uma disposição preferida/alternada (opção 1) ou em forma de fontes “quentes” em uso (opção 2), lidando com cargas de instalações separadas por meio de interruptores manuais ou de ligação automática. Em caso de queda da rede, a fonte de energia de reserva local deve começar a funcionar imediatamente, existindo, todavia um intervalo. Sendo assim, esse sistema de reserva deve incluir uma determinada capacidade de suportabilidade a falha enquanto a fonte local é acionada [...]. Essa suportabilidade a falha pode ser fornecida de várias maneiras, incluindo geradores especiais, bem como fontes de alimentação ininterruptas (UPS).” (FIFA, 2011).

A Figura 2.1 apresenta a opção 1 de sistema de energia, onde são instalados dois serviços, ambos em dimensão completa, sendo utilizado apenas um de cada vez. Vale lembrar que a queda de energia do alimentador principal nesse caso resulta em um atraso para o fechamento da fonte reserva.

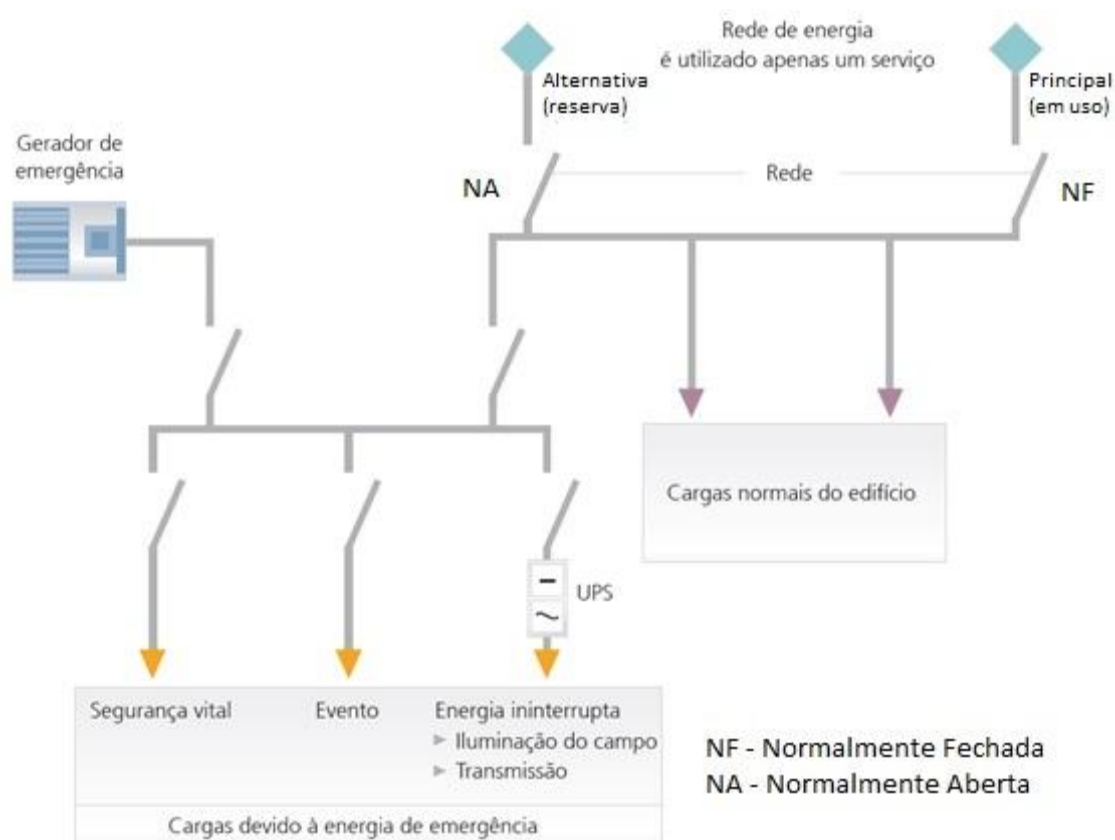


Figura 2.1: Opção de sistema de energia 01
Fonte: Adaptado de FIFA (2011)

Já a Figura 2.2 apresenta a opção 2 de sistema de energia, onde também são instalados dois serviços de energia, porém diferentemente do anterior, os dois sistemas são utilizados simultaneamente. Essa forma de conexão possibilita que a queda de um dos sistemas resulte numa contingência de energia apenas parcial até que a ligação (chave de transferência) seja fechada.

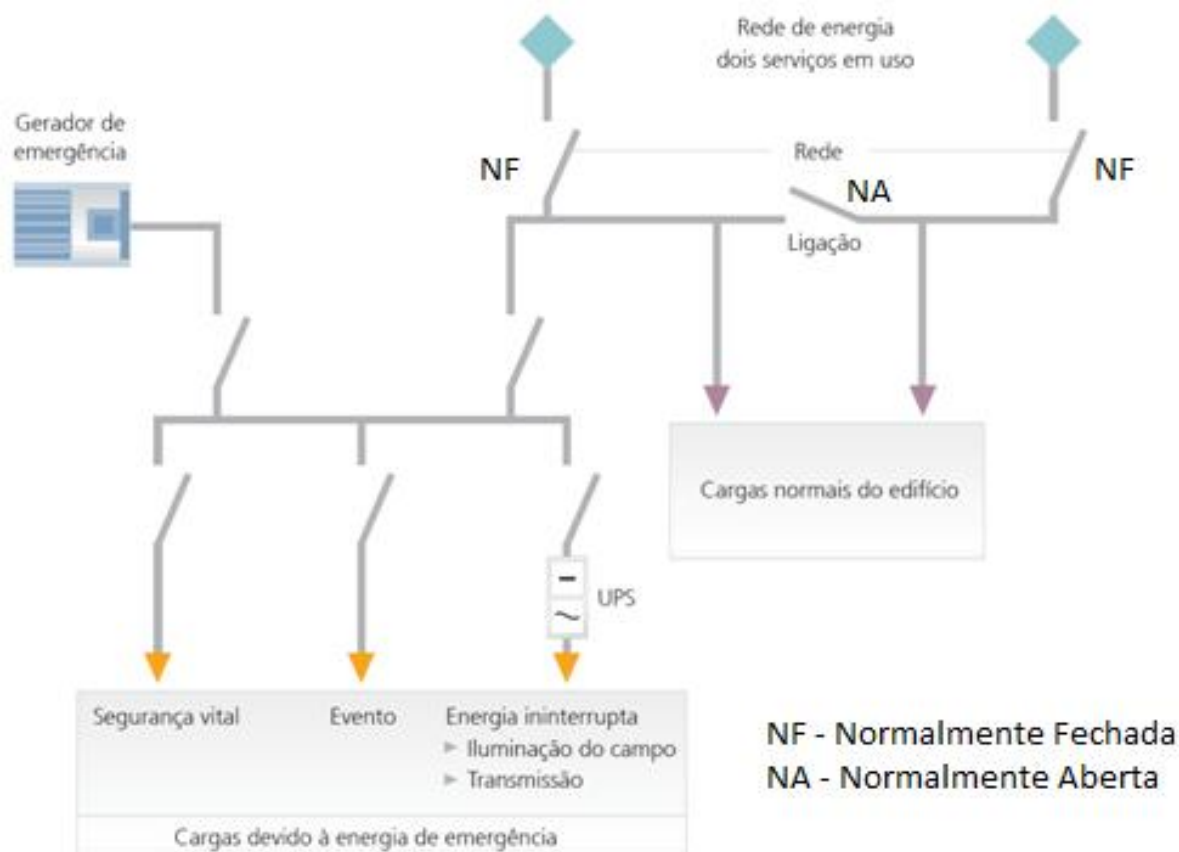


Figura 2.2: Opção de sistema de energia 02
 Fonte: Adaptado de FIFA (2011)

Segundo o TCU (2013) e o próprio acordo assinado entre o governo brasileiro e a FIFA (conforme Figura 1.1 do Capítulo 1), cada estádio deve possuir dupla alimentação de energia, proveniente de subestações distintas, de modo que, no caso de qualquer queda na linha principal, a segunda deverá ser instantânea e imediatamente acionada, de forma a suprir a energia elétrica nos mesmos padrões de atendimento da linha principal. Cada sistema de fornecimento individual deve ser capaz de suprir não só o gramado (campo onde serão realizadas as partidas), mas também as áreas dos espectadores, instalações para a imprensa e transmissão, bem como salas internas e corredores.

Além da alimentação distinta entre as subestações, dentro dos estádios, a FIFA exige dupla redundância. Isso significa que além da energia oriunda do sistema de distribuição da concessionária, deve-se haver um grupo gerador no estádio com capacidade para suprir toda a carga, em caso de falta de energia, bem como uma Fonte de Alimentação Ininterrupta (UPS) (TCU, 2013).

A Figura 2.3 apresenta uma representação esquemática simplificada do sistema projetado e utilizado na alimentação dos estádios no Brasil.

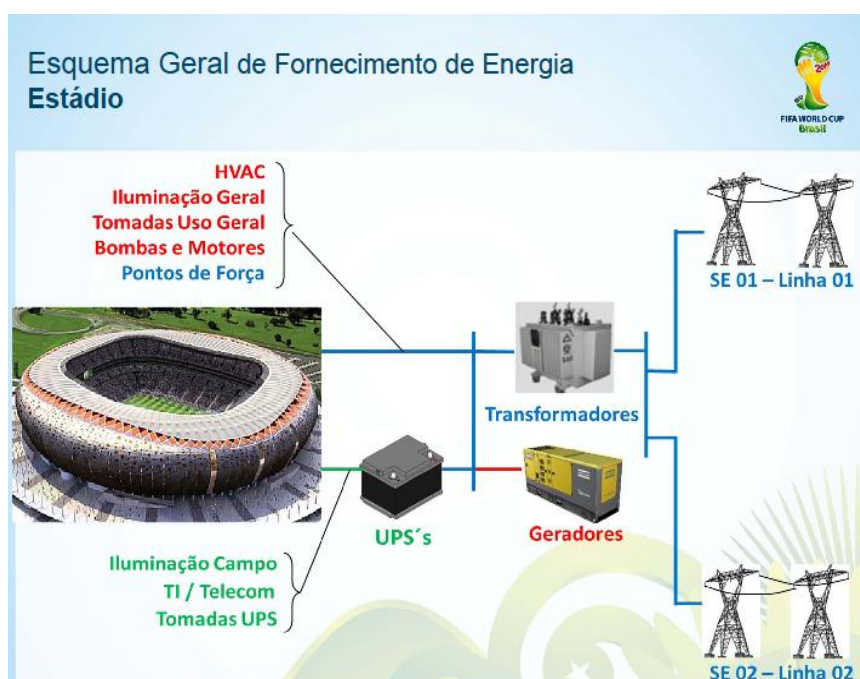


Figura 2.3: Esquema Geral de Fornecimento de Energia ao Estádio
Fonte: Simpósio Jurídico das Empresas do Setor Elétrico (2012)

Dessa forma, destaca-se que apesar da FIFA apresentar dois modos de conexão para a Copa do Mundo do ano de 2014, a organização estipulou a utilização da opção 1, onde um dos ramais fica em modo *stand-by*, como será abordado no item 2.2.2, que apresenta um diagrama mais detalhado do sistema de conexão adotado.

Destaca-se que além do fornecimento de energia elétrica aos estádios, deve ser realizada a alimentação das instalações temporárias (localizadas nos arredores dos mesmos) que servem de apoio durante a realização dos jogos (centro de mídia, centro de voluntários, áreas comerciais, etc.). Tais áreas são alimentadas diretamente pelos geradores ou as fontes de alimentação ininterruptas (UPS) (MME, 2013).

A Figura 2.4 apresenta um esquema das ligações realizadas nas áreas adjacentes ao estádio, visando o atendimento das cargas temporárias.

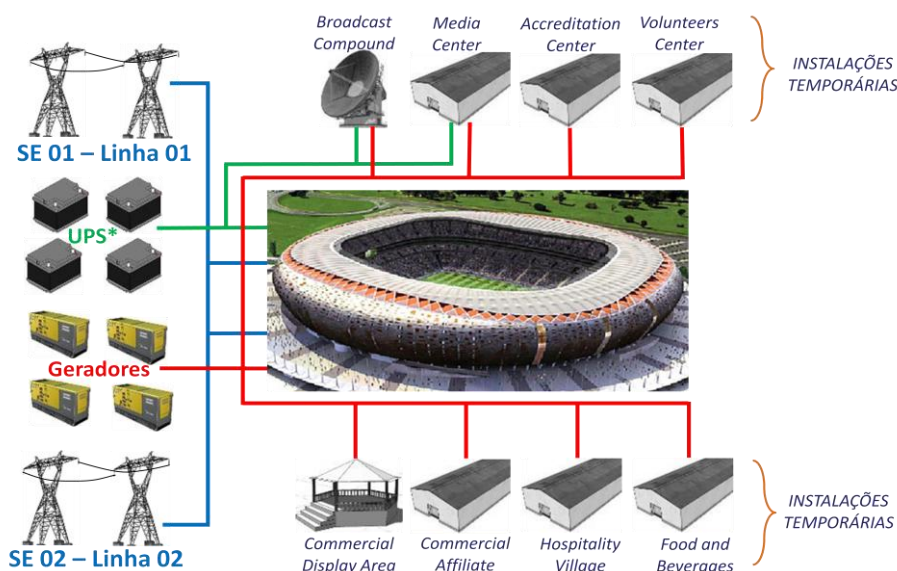


Figura 2.4: Esquema Geral de Atendimento à região dos Estádios

Fonte: MME (2013)

2.1.2 EXIGÊNCIAS DE INFRA-ESTRUTURA DOS ESTÁDIOS E ARREDORES

Além da alimentação do estádio, a FIFA faz diversas exigências no que concerne à construção, reforma ou ampliação de um estádio de futebol, de acordo com a sua finalidade. Dentre elas podem-se citar exigências sobre o projeto de iluminação do estádio, orientação do campo, capacidade, divisões internas, acessos, etc. Vale destacar que, no caso de estádios já existentes, algumas exigências são extremamente dispendiosas bem como em alguns casos impossíveis de serem realizadas (por exemplo, a orientação do estádio da Arena da Baixada, que não se encontra conforme as recomendações da FIFA).

2.1.2.1 LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO DO CAMPO

O estádio deve ser localizado em um local suficientemente espaçoso e seguro para a circulação e atividades seguras do público externo, bem como ter espaço para manobra de veículos e operações. Já a orientação é levada em consideração a fim de evitar o ofuscamento causado pelo sol. Assim, a orientação norte-sul do campo é frequentemente considerada ideal, mas uma análise mais elaborada pode levar alguns projetistas a escolher um ângulo diferenciado, baseando-se pela direção média do sol no meio tempo de jogos que ocorrem no meio da tarde (FIFA, 2011).

A Figura 2.5 mostra um esquema para escolha da orientação do campo.

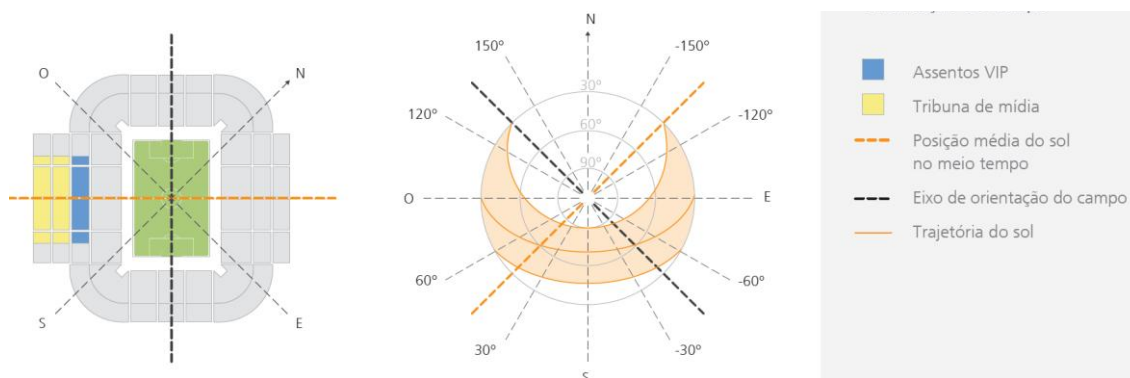


Figura 2.5: Orientação do Campo
Fonte: FIFA (2011)

2.1.2.2 ILUMINAÇÃO DO ESTÁDIO

A função primordial do sistema de iluminação é o de garantir a qualidade de vídeo digital para a mídia, sem criar incômodo para jogadores, árbitros, bem como não causar o “vazamento” de luz/claridade para os espectadores e ambiente. Existem diversas maneiras de instalação, considerando a utilização do estádio, bem como o número de elementos em cada holofote instalado (FIFA, 2011). Porém de modo geral, a instalação deve obedecer às características presentes na Figura 2.6.

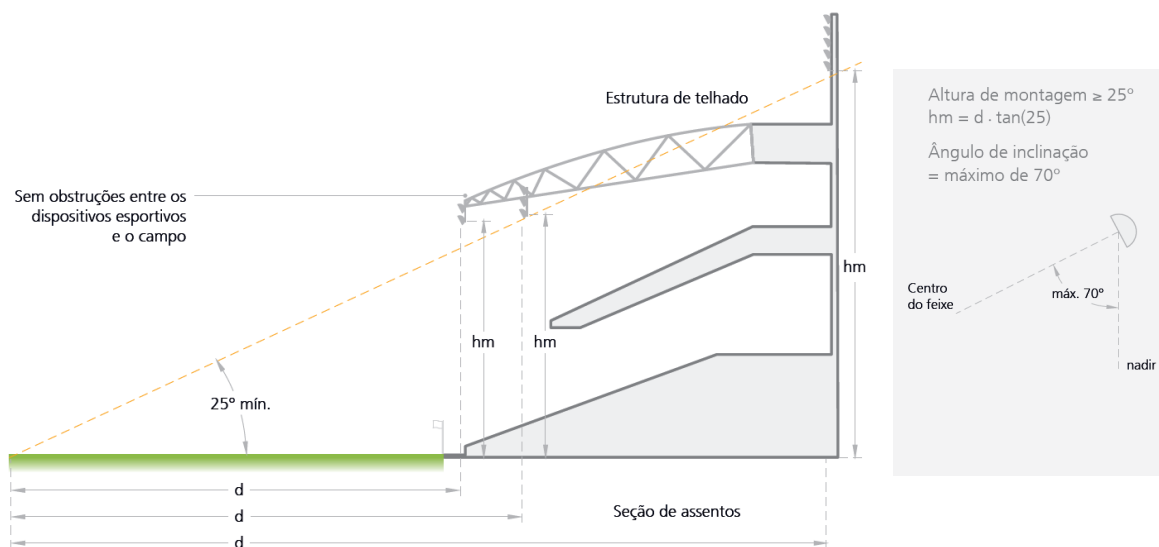


Figura 2.6: Altura de montagem de dispositivos de iluminação
Fonte: FIFA (2011)

Visto a impossibilidade de mudança na orientação do campo, foi realizado projeto de iluminação específico para o estádio Joaquim Américo Guimarães (Arena da Baixada), garantindo-se assim as exigências da FIFA quanto à esse aspecto.

2.1.2.3 DEMAIS EXIGÊNCIAS

Entre as demais exigências presentes no documento “Estádios de Futebol: Recomendações e requisitos técnicos” da FIFA (2011) podem-se citar:

- Procedimentos de segurança: sistemas de controle de acesso, circuito fechado de segurança, centro médico para o público, prevenção contra incêndios, entre outros;
- Orientação e estacionamento: Identificação dos setores, estacionamentos (estes divididos em *VIP* - destinado a autoridades e alta hierarquia, serviço e público), bem como a existência de uma área suficiente para pouso de um helicóptero;
- Área de jogo: dimensões, qualidade, marcações do campo, posição do banco de reservas, parâmetros para implantação de grama natural ou sintética, dimensões e posições para placas publicitárias, etc.
- Infra-estrutura: definição dos vestiários e acessos dos jogadores, salas de controle dos árbitros, médicos e destinados à realização de exames de doping. São exigidos assentos para todos os espectadores, bem como um número mínimo de banheiros e lanchonetes, conforme a capacidade do estádio;
- Mídia: Devem ser previstos espaços específicos para a mídia especialista, bem como comentaristas e repórteres. O estádio também deve contar com uma área destinada a conferências e entrevistas rápidas.

Cabe ressaltar que além das obras realizadas para o atendimento dos padrões exigidos pela FIFA, tornaram-se necessárias outras obras, não só no entorno do estádio, mas em partes do sistema elétrico da região de Curitiba, de modo a garantir o atendimento aos consumidores cativos conectados ao sistema, conforme será descrito na seção a seguir.

2.2 OBRAS REALIZADAS

2.2.1 ASPECTOS GERAIS

As obras envolveram diversos setores da economia, tais como: turismo, infraestrutura, saúde, meio ambiente entre outros. Dentro de cada um desses setores, outros sub-setores foram criados, como é o caso da infra-estrutura, que contempla as obras do próprio estádio, aeroporto, reforço do sistema elétrico, etc.

No aspecto energético, a ANEEL, através de sua nota técnica nº 0056 de 05 de outubro de 2011, referente ao andamento das obras destinadas ao atendimento

aos estádios e à infra-estrutura portuária, elenca dois motivos principais que diferenciariam quantitativamente e qualitativamente os investimentos a serem realizados nas cidades-sede da Copa do Mundo FIFA 2014, que são:

- Proximidade geográfica entre os estádios e o sistema elétrico de distribuição para atendimento deste; e
- Características históricas, de planejamento da distribuidora e da área de concessão.

Nesse mesmo documento a ANEEL exemplifica as diferenças existentes entre os sistemas elétricos e sua relação com os investimentos necessários, sendo a principal com relação à localização da rede elétrica da concessionária em relação ao estádio.

A Figura 2.7 mostra um exemplo de uma cidade cujo sistema de distribuição é radial e a localização do estádio é geograficamente próxima ao sistema de distribuição da concessionária.

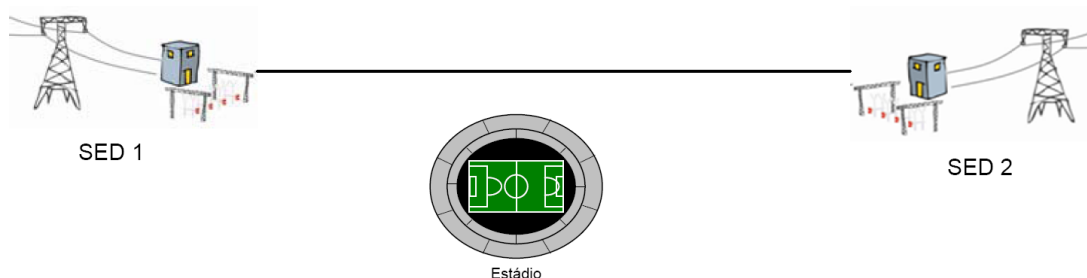


Figura 2.7: Exemplo de atendimento do estádio próximo ao sistema de distribuição
Fonte: ANEEL (2011)

Nesse caso, as obras necessárias ao atendimento das exigências da FIFA se tornam pouco onerosas, pois se limitam ao seccionamento de circuitos, pequenas alterações e extensões de rede, como mostra a Figura 2.8 (ANEEL, 2011).

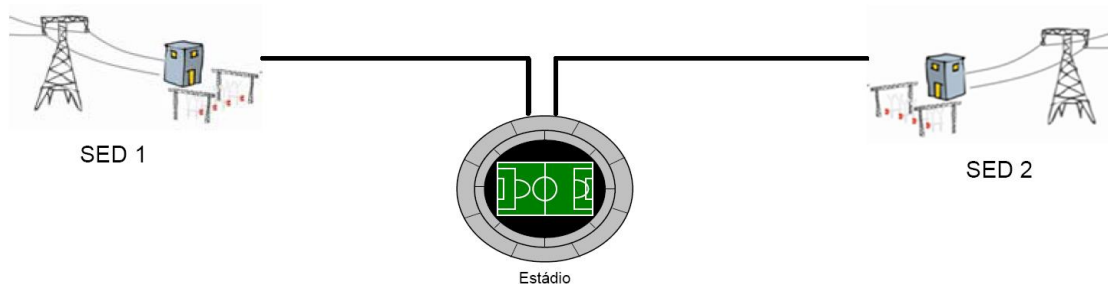


Figura 2.8: Exemplo de obras necessárias ao atendimento da FIFA para estádio próximo ao sistema de distribuição
Fonte: ANEEL (2011)

Já a Figura 2.9 mostra um exemplo de uma cidade cujo sistema de distribuição é malhado ou a localização do estádio é distante do sistema de distribuição.

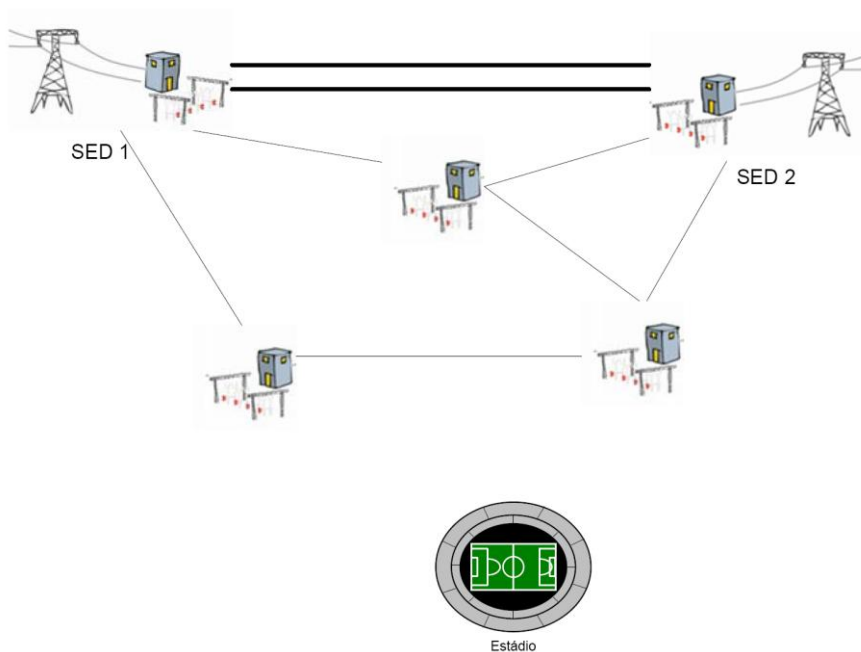


Figura 2.9: Exemplo de atendimento do estádio distante do sistema de distribuição
Fonte: ANEEL (2011)

Nesse caso, as obras necessárias ao atendimento das exigências da FIFA se tornam relativamente onerosas, uma vez que além da alimentação dupla do estádio, faz-se necessária a readequação, melhoria e expansões de outras linhas, como mostra a Figura 2.10 (ANEEL, 2011).

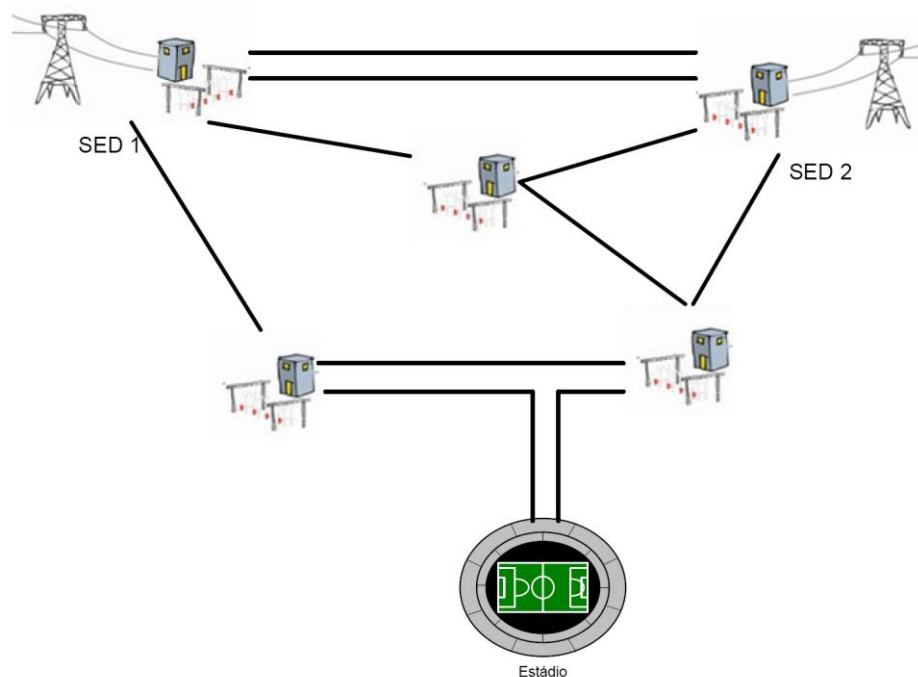


Figura 2.10: Exemplo de obras necessárias ao atendimento da FIFA para estádio distante do sistema de distribuição
Fonte: ANEEL (2011)

Ainda acerca da alimentação do estádio, o TCU (2013) afirma:

“Em termos de capacidade de fornecimento, os montantes definidos para cada estádio é da ordem de 10.000 kVA, dos quais 80% (8.000 kVA) devem ser disponibilizados às diversas áreas do estádio. O restante é a margem de folga para eventual aumento de demanda. [...] O sistema de gerador deverá contar com capacidade de 4.640 kVA, e a fonte de alimentação ininterrupta deve possuir capacidade para suprir 2.360 kVA. Além do fornecimento aos estádios, deve ser contabilizado o fornecimento às instalações temporárias, que ficam no seu entorno e devem demandar cerca de 6.000 kVA.”

Percebe-se dessa forma, que a demanda necessária nos estádios é extremamente elevada, se comparada a outros consumidores conectados à rede, fazendo-se necessário um estudo detalhado dos impactos provenientes da conexão ou mudança de alimentador do estádio.

2.2.2 ALIMENTADORES DO ESTÁDIO ARENA DA BAIXADA

A cidade de Curitiba, uma das sedes do campeonato de 2014 da Copa do Mundo FIFA, sediou um total de quatro jogos, utilizando-se do estádio Joaquim Américo Guimarães (comumente chamada de Arena da Baixada).

Para o atendimento às exigências e padrões da FIFA, o estádio e seu entorno passaram por diversas obras, entre elas a modificação do sistema de fornecimento de energia ao estádio e demais áreas afins. Foi realizada a dupla alimentação, sendo essa proveniente das subestações de distribuição Batel e Parolin (esta distante aproximadamente 2,3 km do estádio), ambas em 69 kV. Vale lembrar que antes das obras destinadas à Copa do Mundo, o estádio era alimentado unicamente pela subestação Batel 69 kV.

A Figura 2.11 apresenta o diagrama básico da conexão de ligação do estádio ao sistema elétrico da COPEL, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em 2013, mostrando as duas subestações a serem utilizadas para tal fim.

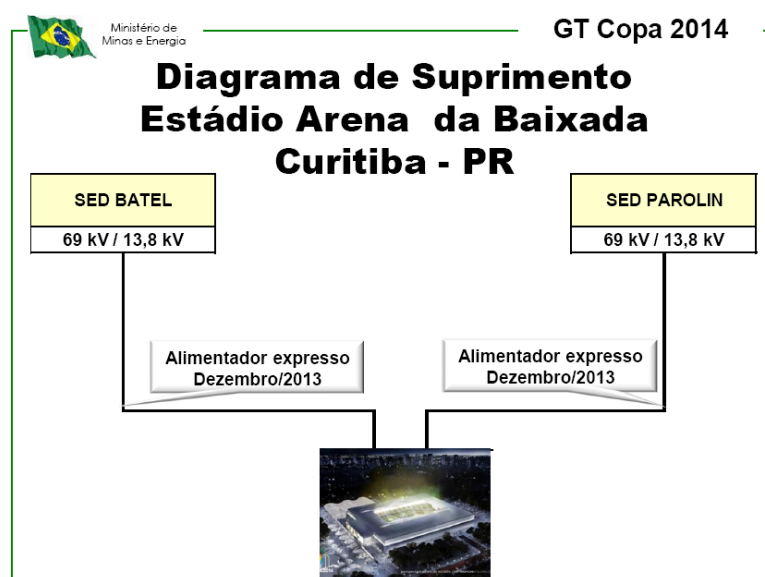


Figura 2.11: Diagrama Simplificado de Suprimento do Estádio Arena da Baixada em Curitiba
Fonte: MME (2013)

Já a COPEL, durante sua apresentação na Câmara Temática do Esporte e Ação Social, no dia 7 de dezembro de 2012, apresentou um diagrama com maiores detalhes (Figura 2.12), se comparado ao apresentado pelo Ministério de Minas e Energia em 2013. Nesse diagrama é possível observar a chave de transferência a gás automática (GA) a ser instalada na entrada de energia do estádio, bem como a definição preliminar de trechos dos alimentadores a serem realizados de forma subterrânea ou aérea, conforme o caso.

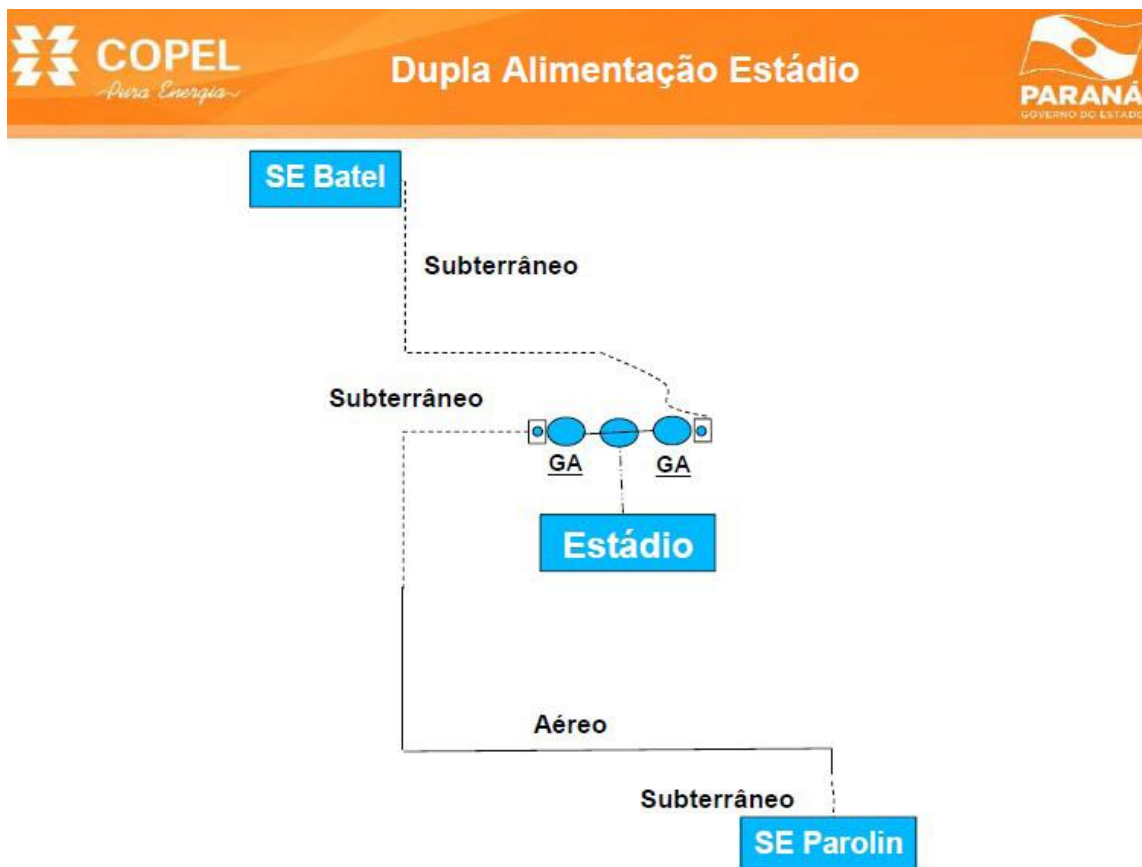


Figura 2.12: Diagrama de Suprimento do Estádio Arena da Baixada em Curitiba
Fonte: COPEL in GOVERNO DO PARANÁ (2012)

Segundo o Governo do Paraná (2012), a dupla alimentação estaria 90% já concluída no ano de 2012, sendo previsto nessa época investimentos de R\$ 510 milhões, visando “risco zero” em queda de energia elétrica. Vale ressaltar que apesar desta previsão inicial, as obras para a dupla alimentação do estádio foram concluídas apenas no início do ano de 2014.

O ONS em 2014, através de sua Nota Técnica NT-0084/2014, apresentou o sistema de atendimento à malha da região metropolitana de Curitiba, no qual é possível visualizar a dupla alimentação tanto do estádio quanto do aeroporto. Ele ainda apresenta outros ramais alimentadores que passaram por obras, que será visto na seção 2.2.3. Tal diagrama pode ser visualizado na Figura 2.13.

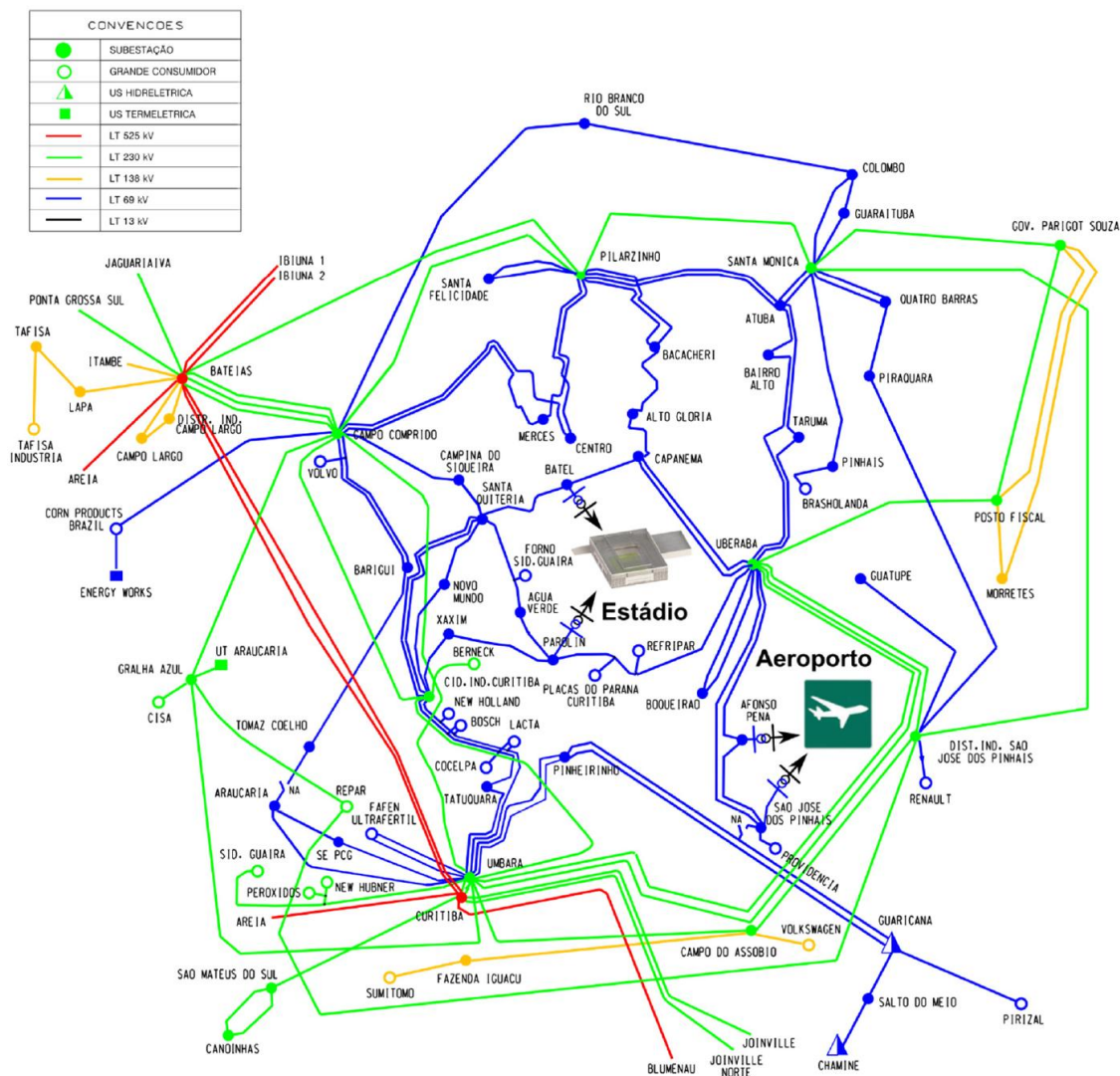


Figura 2.13: Diagrama unifilar da região metropolitana de Curitiba
Fonte: ONS (2014)

A Figura 2.14 apresenta a localização da subestação Batel (69/13,8 kV) e o estádio Arena da Baixada, enquanto a Figura 2.15 apresenta a localização da subestação Parolin (69/13,8 kV).

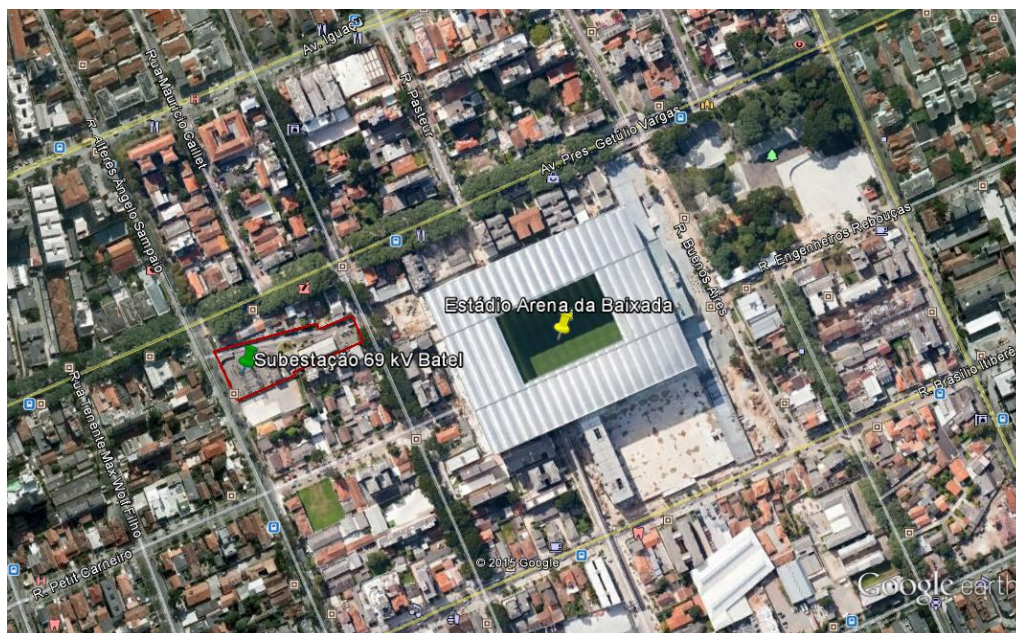


Figura 2.14: Localização da subestação Batel e Estádio Arena da Baixada
Fonte: Google Earth (2015) – Imagem de Satélite 09/05/2014

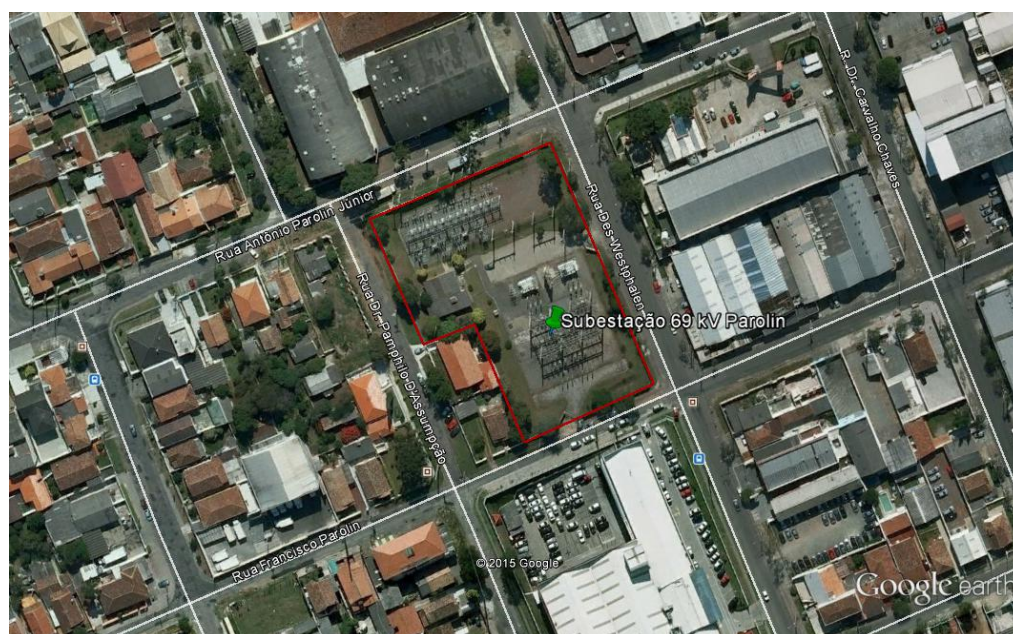


Figura 2.15: Localização da subestação Parolin
Fonte: Google Earth (2015) – Imagem de Satélite 21/05/2014

Já a Figura 2.16 mostra a localização do estádio e as duas subestações utilizadas para a alimentação do mesmo. Vale lembrar que a distância linear entre o estádio e a subestação Batel é de aproximadamente 190 m, ao passo que a subestação Parolin se encontra a cerca de 3 km do estádio.

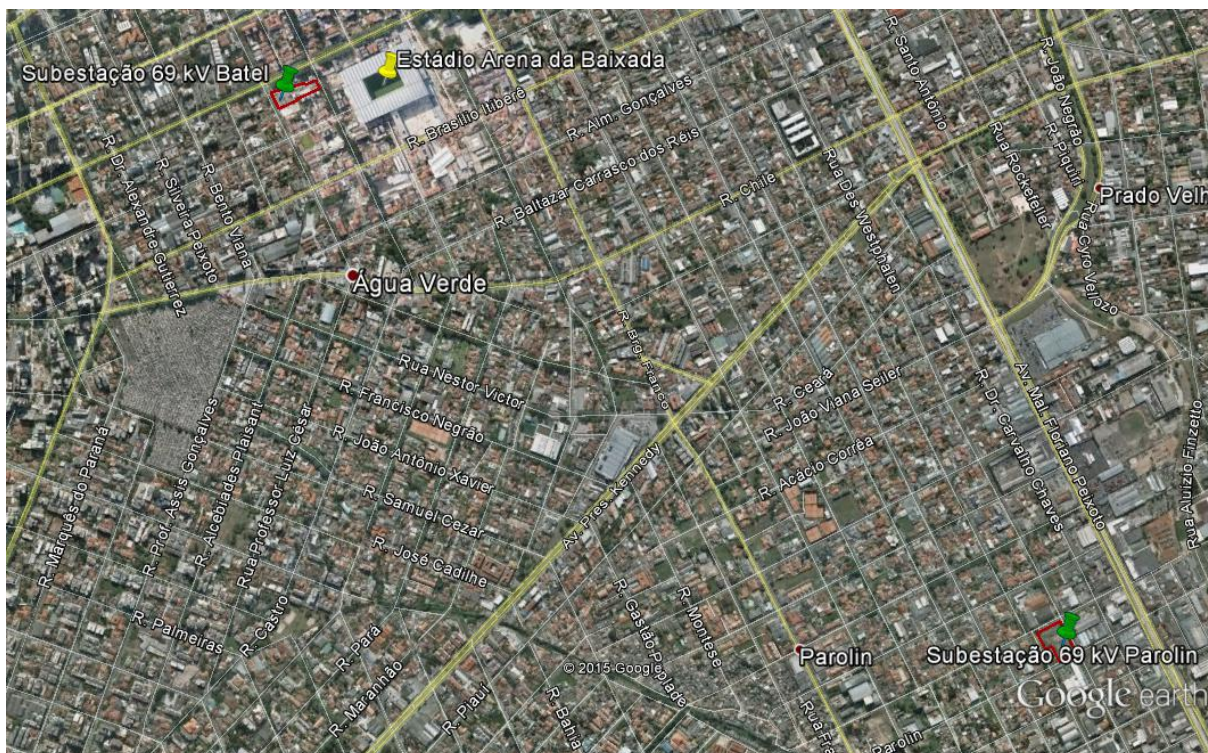


Figura 2.16: Visão geral do estádio e subestações Batel e Parolin
Fonte: Google Earth (2015) – Imagem de Satélite 21/05/2014

Tanto o alimentador principal quanto o reserva do estádio foram instalados com cabo 336 XLPE, porém distintos na forma construtiva, uma vez que o primeiro é subterrâneo e o segundo misto (com os trechos iniciais e finais de forma subterrânea e o restante aéreo), conforme pode ser visualizado na Figura 2.17, que apresenta um projeto preliminar do caminhamento dos alimentadores (GOVERNO DO PARANÁ, 2012).



Figura 2.17: Trajeto dos alimentadores do estádio Arena da Baixada
Fonte: COPEL in GOVERNO DO PARANÁ (2012)

2.2.3 DEMAIS OBRAS NO SISTEMA ELÉTRICO DA COPEL

Além da alimentação do estádio, fizeram-se necessárias outras obras vinculadas à realização da Copa do Mundo no Brasil, em especial para os jogos realizados na cidade de Curitiba. Tais obras referem-se a reforços de redes, substituição de equipamentos, criação e remanejamento de linhas de distribuição, entre outras.

Segundo a Nota Técnica nº 0056/2011 da ANEEL, para o caso da COPEL foram previstas um total de 18 obras no seu sistema elétrico de distribuição, a fim de garantir o fornecimento não só da estrutura destinada ao evento, como a todos os consumidores conectados à rede da concessionária. A Tabela 2.2 apresenta o resumo de tais obras.

Tabela 2.2: Plano de obras com vistas ao atendimento da Copa do Mundo da FIFA 2014 (continua)

REF.	INSTALAÇÃO	AÇÃO NECESSÁRIA	PRAZO PARA CONCLUSÃO	STATUS ATUAL
1	SED Afonso Pena	Construção SED 69 kV / 13,8 kV; 1 x 41,67 MVA 2 Entradas de Linhas 69 kV	Dezembro / 2012	Concluída
2	LDAT Uberaba – Afonso Pena – São José dos Pinhais	Linha de Distribuição 69 kV; 0,76 km; aérea - seccionamento da LDAT 69 kV Uberaba - São José dos Pinhais	Dezembro / 2012	Concluída
3	SED Umbará	Ampliação SED; Substituição de 8 disjuntores 69 kV	Dezembro / 2012	Concluída
4	SED Campo Comprido	Ampliação SED; Substituição de 7 disjuntores 69 kV	Dezembro / 2012	Concluída
5	SED Atuba	Ampliação SED; Substituição de 9 disjuntores 69 kV	Dezembro / 2012	Concluída
6	LDAT Distrito Industrial de São José dos Pinhais – Guatupê	Linha de Distribuição 69 kV; 6,0 km; aérea	Dezembro / 2012	Concluída
7	LDAT Distrito Industrial de São José dos Pinhais – Piraquara	Linha de Distribuição 69 kV; 15,0 km; aérea	Dezembro / 2012	Concluída
8	SED Morretes	Construção SED 138 kV / 34,5 / 13,8 kV; 2 x 20,83 MVA; 2 Entradas de Linhas 138 kV	Dezembro / 2012	Concluída
9	LDAT Posto Fiscal – Morretes – Governador Parigot de Souza	Seccionamento Linha de Distribuição 138 kV Posto Fiscal - Governador Parigot de Souza	Dezembro / 2012	Concluída
10	SED Capanema	Renovação SED; Substituição de 13 disjuntores de 13,8 kV e 6 disjuntores de 138 kV; Substituição de 2Trafos 138 kV / 13,8 kV - 30 MVA	Dezembro / 2013	Concluída
11	LDAT Guatupê – Pinhais	Linha de Distribuição 69 kV; 8,0 km; aérea	Dezembro / 2013	Concluída
12	LDAT Santa Quitéria – Batel LT2	Linha de Distribuição; 69 kV; 3,6 km; aérea	Dezembro / 2013	Concluída

Tabela 2.2: Plano de obras com vistas ao atendimento da Copa do Mundo da FIFA 2014 (continuação)

REF.	INSTALAÇÃO	AÇÃO NECESSÁRIA	PRAZO PARA CONCLUSÃO	STATUS ATUAL
13	LDAT Santa Quitéria – Parolin	Linha de Distribuição 69 kV; recapacitação do trecho de 3,5 km; aérea	Dezembro / 2013	Concluída
14	LDAT Xaxim – Parolin	Linha de Distribuição 69 kV; 4,0 km; aérea	Dezembro / 2013	Concluída
15	LDAT Pilarzinho – Alto da Glória	Linha de Distribuição 69 kV; 8,0 km; aérea	Dezembro / 2013	Concluída
16	LDAT Uberaba – Boqueirão	Linha de Distribuição 69 kV; 0,2 km; aérea	Dezembro / 2013	Concluída
17	LDAT Umbará – Pinheirinho	Linha de Distribuição 69 kV; 0,2 km; aérea	Dezembro / 2013	Concluída
18	LDAT Campina do Siqueira – Campo Comprido	Linha de Distribuição 69 kV; 5,0 km; aérea	Dezembro / 2013	Concluída

Fonte: Adaptado de ANEEL (2011)

Essas obras, de modo geral, alteram o sistema elétrico da concessionária, pois realizam um remanejamento de cargas, novas conexões, substituição de sistemas obsoletos, aumento da capacidade de linhas e subestações, entre outros aspectos.

A Figura 2.18 apresenta o mapa geométrico da COPEL no ano de 2012, enquanto a Figura 2.19 apresenta um detalhe do sistema para a região de Curitiba e região metropolitana para o mesmo ano.

SISTEMA ELÉTRICO DE TRANSMISSÃO - ABRIL/2012

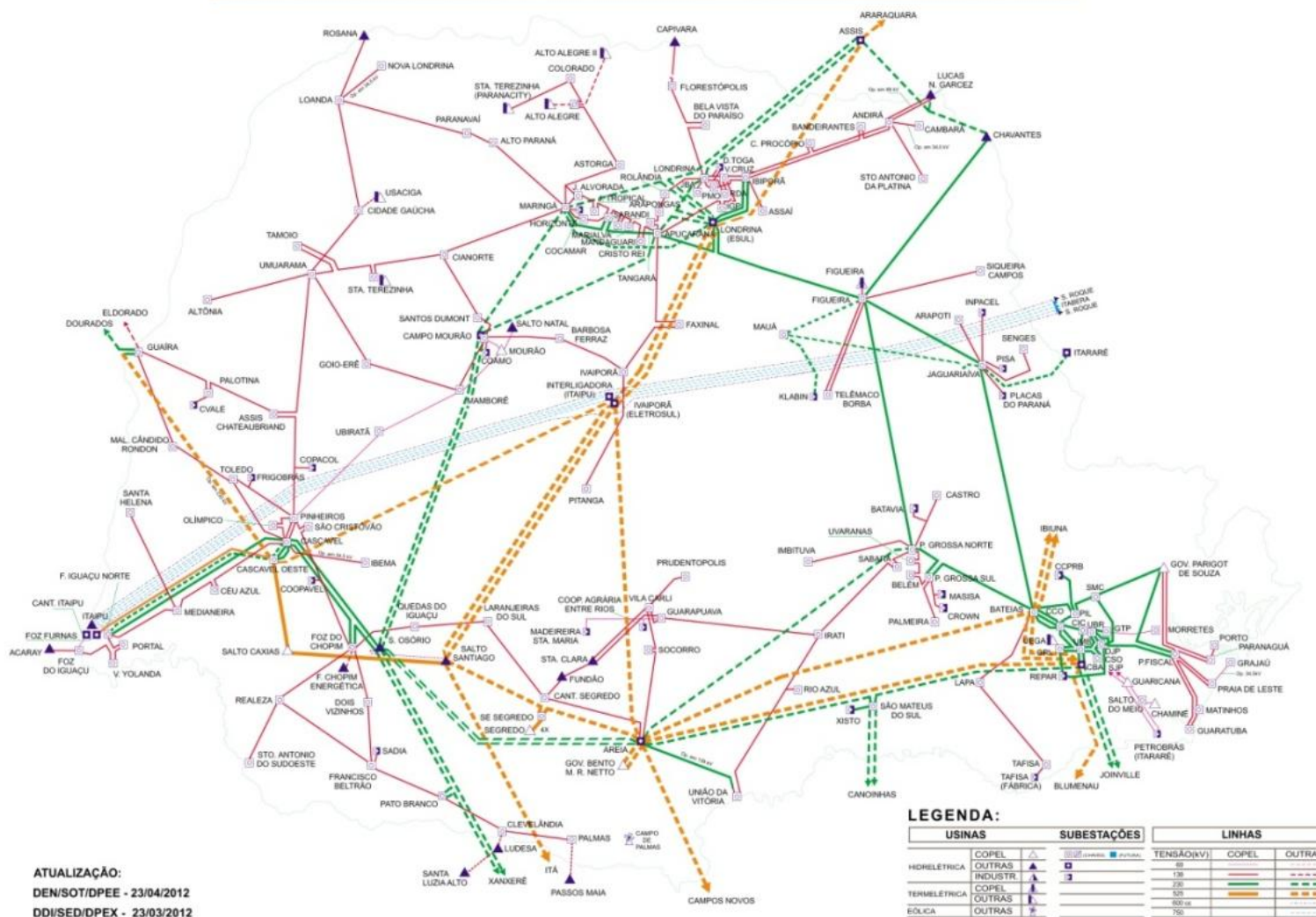
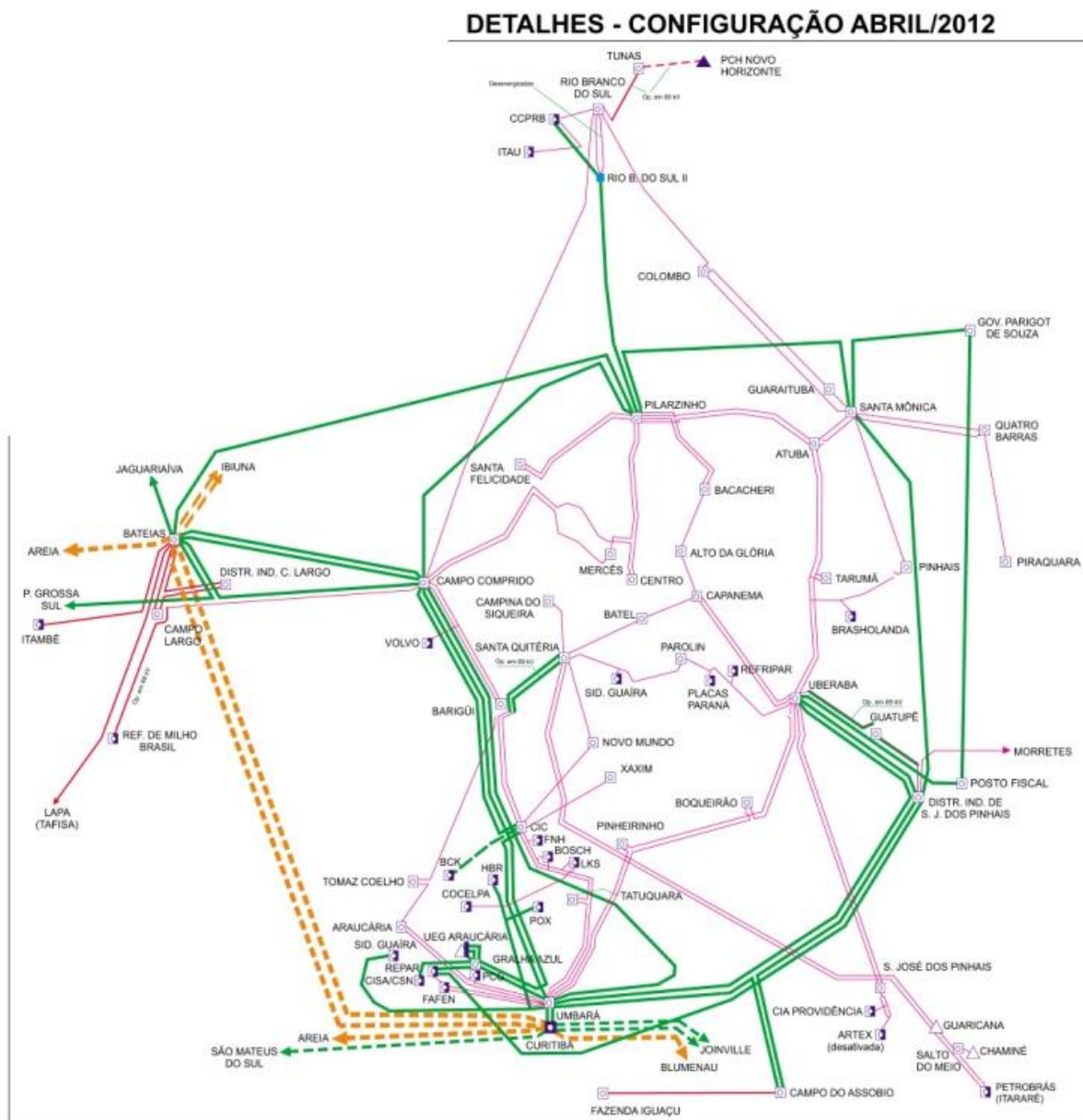


Figura 2.18: Mapa Geométrico do estado do Paraná – Ano 2012
Fonte: COPEL (2015)



DETALHE DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

LEGENDA:

USINAS		SUBESTAÇÕES		LINHAS		
HIDRELÉTRICA	COPEL			TENSÃO(kV)	COPEL	OUTRAS
	OUTRAS			69		
INDUSTRIAL	COPEL			138		
	OUTRAS			230		
TERMELÉTRICA	COPEL			525		
	OUTRAS			800 cc		
EÓLICA	COPEL			750		
	OUTRAS					

Figura 2.19: Detalhe Curitiba e região metropolitana – Ano 2012

Fonte: COPEL (2015)

Já as Figuras 2.20 e 2.21 apresentam respectivamente, o mapa geoeletrico da COPEL e o detalhe do sistema para a região de Curitiba e região metropolitana, porém referenciado ao ano de 2014.



Figura 2.20: Mapa Geométrico do estado do Paraná – Ano 2014
Fonte: COPEL (2015)

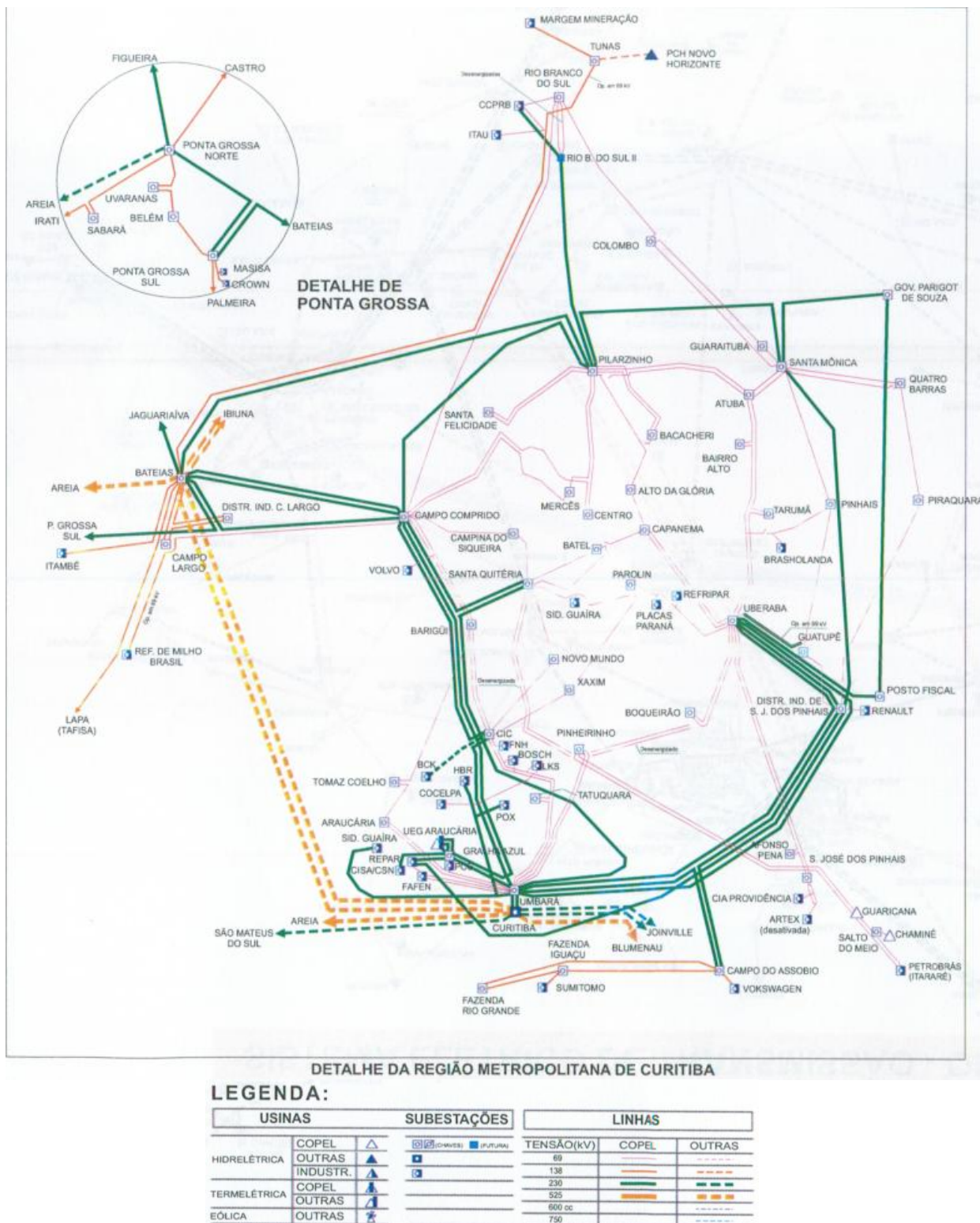


Figura 2.21: Detalhe Curitiba e região metropolitana – Ano 2014
Fonte: COPEL (2015)

Analisando as quatro figuras anteriores, em especial as figuras 2.19 e 2.21, percebem-se diversas mudanças entre os anos de 2012 e 2014, sendo algumas delas provenientes das obras destinadas à Copa do Mundo FIFA 2014.

Dentre as alterações relacionadas à Copa do Mundo, podem-se verificar algumas intervenções, tais como:

- Implantação da linha de distribuição entre a SED Campo Comprido e SED Campina do Siqueira;
- A redundância entre a SED Batel e SED Santa Quitéria;
- Implantação da linha de distribuição entre a SED Xaxim e SED Parolin;
- Seccionamento da LD entre a SED Uberaba e SED São José dos Pinhais, criando a conexão intermediária através da SED Afonso Pena;
- Implantação da linha de distribuição entre a SED Distrito Industrial e SED Piraquara;

Visando facilitar a visualização de tais informações, as figuras 2.17 a 2.21 são apresentadas novamente no anexo 1, bem como é apresentada a Figura 2.22 que mostra as linhas de distribuição e subestações envolvidas nas obras destinadas ao atendimento da Copa do Mundo FIFA 2014¹, sendo tais obras referenciadas ao Mapa Geométrico da região de Curitiba e sua região metropolitana do ano de 2014.

¹ A Figura 2.22 não apresenta o seccionamento da LDAT Posto Fiscal – Morretes – Governador Parigot de Souza, uma vez que a Subestação Morretes não faz parte do sistema elétrico de Curitiba e região metropolitana.

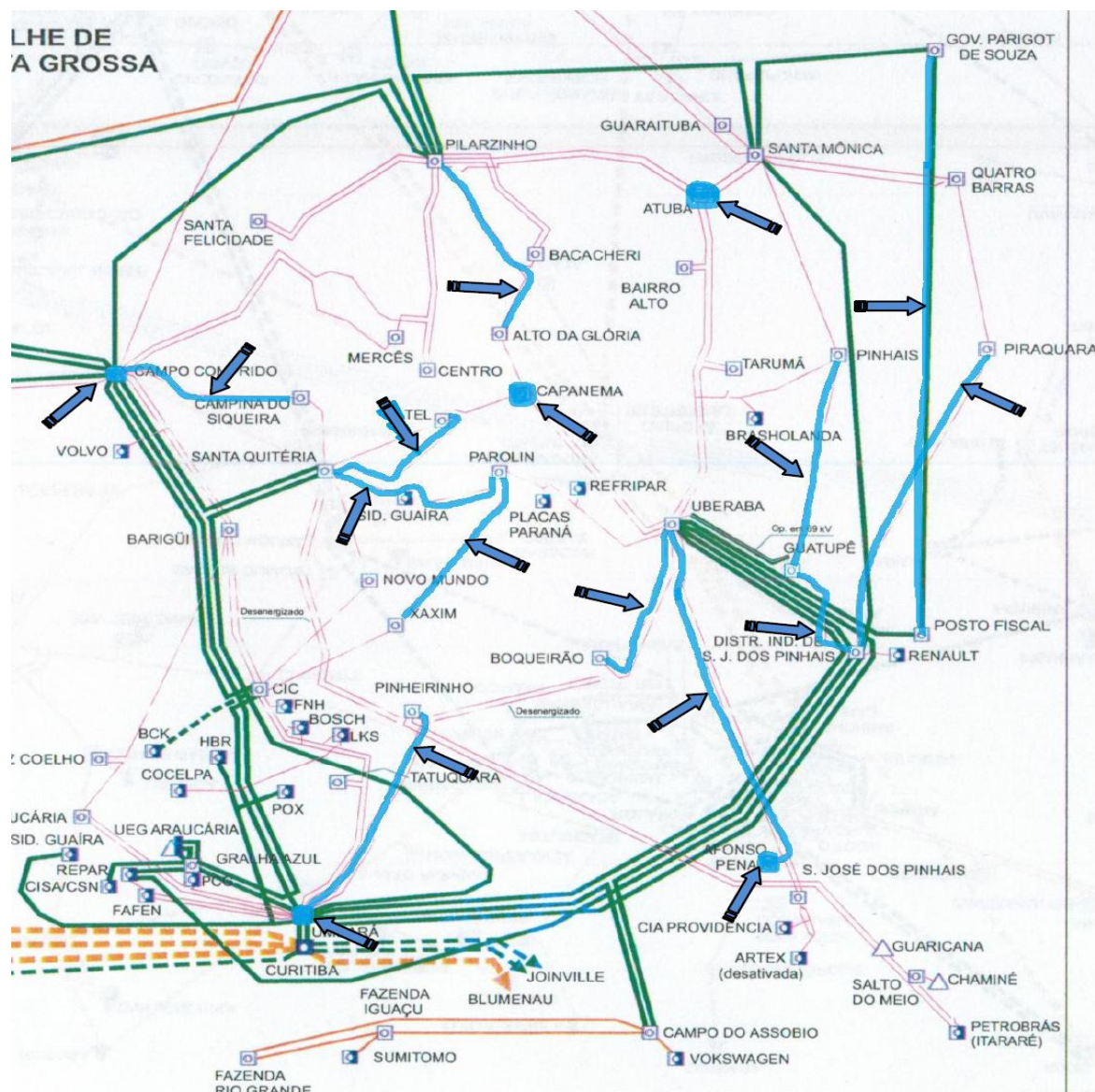


Figura 2.22: Detalhe Curitiba e região metropolitana com as obras relacionadas à Copa do Mundo FIFA 2014

Fonte: Adaptado de COPEL (2015)

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das informações disponibilizadas, bem como das análises realizadas, percebe-se a importância das diversas obras realizadas pela COPEL no seu sistema de distribuição de Curitiba e região metropolitana, no sentido de atender aos padrões requeridos pela FIFA e fornecer energia elétrica aos consumidores conectados à sua rede elétrica, de forma contínua e dentro dos padrões de qualidade estabelecidos e exigidos pelos órgãos reguladores.

3. INDICADORES DE CONFIABILIDADE PARA SISTEMAS DE POTÊNCIA

A seguir são apresentadas as teorias, modelos existentes e fundamentos necessários à compreensão e execução do trabalho proposto, que possuem como objetivo a análise do ganho de confiabilidade de parte do sistema elétrico da Companhia Paranaense de Energia (COPEL), frente às obras associadas à Copa do Mundo de 2014.

Para uma correta verificação da confiabilidade do sistema torna-se indispensável definir com exatidão os fundamentos aplicados na mesma, bem como o nível hierárquico envolvido no estudo. Ademais, faz-se necessário um estudo aprofundado das metodologias e ferramentas utilizadas pelas empresas do setor elétrico brasileiro para tal estudo.

3.1 CONCEITOS BÁSICOS RELACIONADOS À CONFIABILIDADE

3.1.1 DEFINIÇÃO DE CONFIABILIDADE

De forma geral, confiabilidade é definida como a probabilidade de um sistema operar sem falhas, ou seja, um sistema de energia elétrica 100% confiável seria aquele capaz de fornecer energia elétrica de forma ininterrupta. Porém tal fato não é possível, pois todos os sistemas elétricos necessitam de manutenção, da mesma maneira que estão sujeitos a fatores incertos (tais como intempéries, acidentes, falhas de equipamentos, etc.).

Nesse aspecto, Borges (2005) afirma que a confiabilidade possui importância conforme se aumenta a complexidade tecnológica dos sistemas, as exigências cada vez mais severas das condições operativas, alto grau de automação e as expectativas de desempenho.

A definição de confiabilidade pode ser dada por:

“Confiabilidade de um sistema é a probabilidade de que, quando em operação sob condições ambientais estabelecidas, o sistema apresentará uma *performance* desejada (sem falhas) para um intervalo de tempo específico.” (PIAZZA, 2000).

Marsengo et. al. (2011) descreve a confiabilidade em linhas subterrâneas, que representa a probabilidade de um sistema continuar a transmitir energia sem interrupções. Tal definição é aplicada não só ao sistema subterrâneo como também no sistema aéreo, já que se trata da definição geral de confiabilidade. Porém os autores apresentam outros aspectos que influenciam na confiabilidade quando afirmam:

“A confiabilidade varia de sistema para sistema devido à grande quantidade de variáveis próprias da instalação, tais como: Comprimento da linha, marcas e qualidade dos componentes, ambiente no qual a linha é instalada, temperatura ao longo do ano, umidade relativa, instalações mecânicas, frequências, amplitudes, vibrações, etc.. Sendo assim, é possível calcular uma previsão de risco e confiabilidade para as linhas, mas os dados realmente significativos virão após o início de funcionamento e coleta de dados próprios da instalação em estudo.” (MARSENCO et. al., 2011).

Vale salientar que no caso de sistemas elétricos de potência, o conceito de confiabilidade pode ser dividido de acordo com sua abrangência, ou seja, depende do setor em que é analisada. Por exemplo, caso a análise seja feita apenas no setor de geração, a avaliação de confiabilidade é denominada simples. Se forem englobadas a geração e a transmissão, por exemplo, a avaliação é denominada composta.

Com relação aos sistemas compostos de geração e transmissão, Resende (2002) afirma que a confiabilidade pode ser referida como a capacidade de suprir a demanda de energia elétrica em qualquer ponto da carga, podendo ser considerada como um problema que pode ser dividido em dois aspectos: adequação (desempenho estático da rede) e segurança (desempenho dinâmico da rede).

A incorporação de técnicas probabilísticas na avaliação da confiabilidade de sistemas de potência data da década de 30 para a área de geração. Com o progresso da tecnologia computacional e novas metodologias na coleta de dados, a partir da década de 70 foi viabilizada a aplicação de métodos probabilísticos em áreas como cálculo de confiabilidade em sistemas compostos – geração e transmissão de energia (EPE, 2007).

3.1.2 TEORIA DA CONFIABILIDADE

A medição da confiabilidade pode dar-se de dois modos: qualitativo (subjetivo) ou quantitativo (objetivo). A medição quantitativa da confiabilidade se utiliza da Teoria da Probabilidade. A questão principal não é ser ou não confiável, mas sim o quanto é confiável (grau de confiabilidade) (BORGES, 2005).

A análise da confiabilidade em sistemas se desenvolveu quando, por volta de 1940, com o esforço da 2ª Guerra Mundial, os sistemas eletrônicos foram se tornando cada vez mais requisitados. Tais sistemas cresceram em complexidade e os problemas operacionais necessitavam uma abordagem sistemática para serem solucionados (PIAZZA, 2000).

Segundo Borges (2005), a Teoria da Confiabilidade estuda métodos que devem ser adotados nas fases de planejamento, projeto, fabricação, instalação e operação de componentes e sistemas, de modo a assegurar a máxima eficiência, segurança e economia.

Geralmente, os estudos de avaliação da confiabilidade em sistemas de energia visam lidar com as incertezas provenientes, por exemplo, de interrupções forçadas, previsão de carga, entre outros. Além disso, tais estudos podem incluir estratégias de operação do sistema para lidar com a influência de decisões anteriores acerca do assunto (CARVALHO, 2013).

Tal teoria é baseada nas leis de falhas dos componentes e sistemas, representada através de suas distribuições de probabilidade de falha, e estabelece índices quantitativos de desempenho, comumente chamados índices de confiabilidade. Ela ainda lida, trata e modela fontes de incerteza no processo, tais como tempo de ocorrência de falhas, tempo de reparo, entrada em serviço de novas obras, frequência de ocorrência de falhas, etc. (BORGES, 2005).

A análise baseada em técnicas probabilísticas permite uma avaliação mais precisa e flexível de agendamento de interrupções durante dias úteis em períodos de carga média, sem que o grau de risco do sistema se eleve a níveis preocupantes. Tal análise probabilística evita ou pelo menos minimiza as limitações decorrentes do uso exclusivo de critérios determinísticos, já que se reconhece a natureza estocástica dos sistemas elétricos (LIMA et. al., 2012).

O objetivo principal da aplicação de métodos probabilísticos nos estudos de planejamento consiste em realizar uma predição dos níveis de confiabilidade do sistema, não necessariamente caracterizando a certeza de uma futura ocorrência de problemas no sistema (EPE, 2007). Dessa forma, os resultados esperados com esse novo critério correspondem à redução dos custos de operação e manutenção que, por sua vez, implicam na redução das tarifas de energia pagas pelos consumidores (LIMA et. al., 2012).

De forma simplificada, a EPE (2007) mostra um fluxograma com as principais etapas de uma análise de confiabilidade, replicada neste trabalho na Figura 3.1.

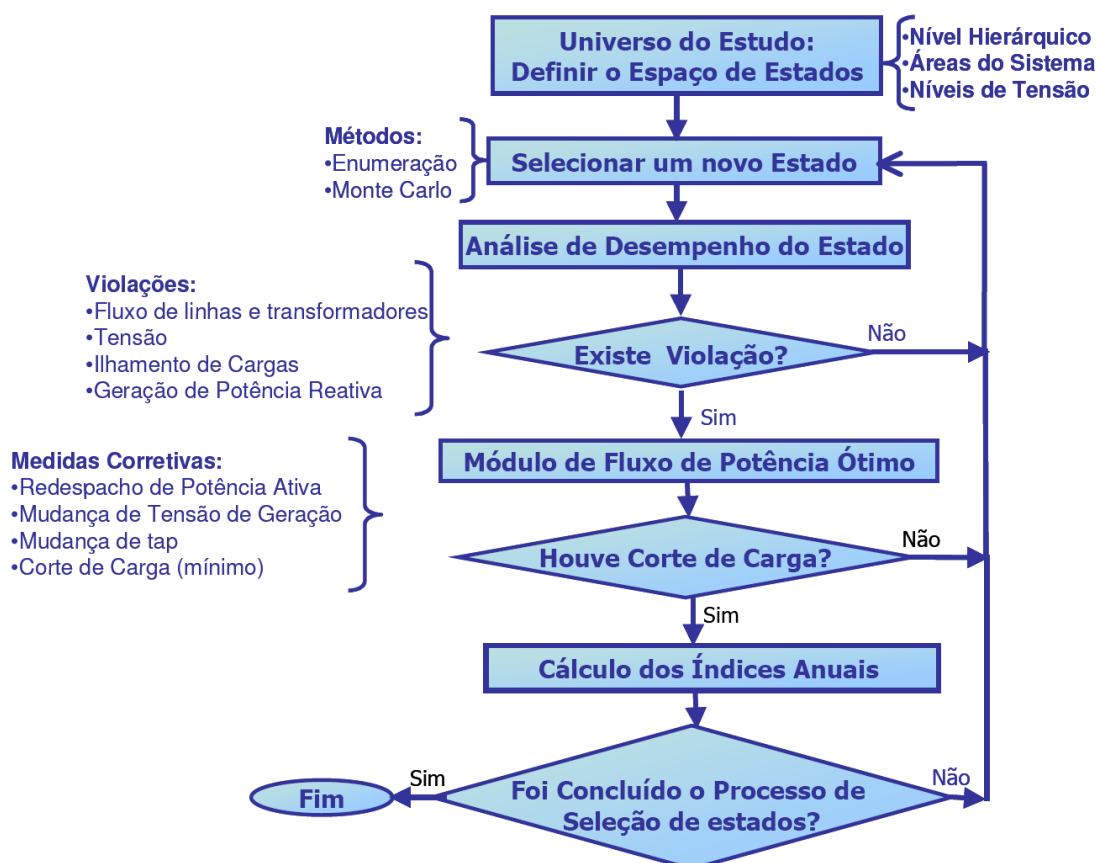


Figura 3.1: Etapas de uma Análise de Confiabilidade
Fonte: EPE (2007)

3.1.3 NÍVEIS HIERÁRQUICOS

Com o intuito de facilitar o estudo relacionado à confiabilidade dos sistemas elétricos de potência, os mesmos foram divididos em níveis hierárquicos, sendo

formados a partir de combinações entre os principais setores (geração, transmissão e distribuição).

Nessa questão, e visto o tamanho e complexidade dos sistemas elétricos atuais, Carvalho (2013) diz:

“Sistemas elétricos modernos são consideravelmente grandes e extremamente complexos. Dependendo do pormenor necessário para a representação dos componentes do sistema e o poder de processamento do sistema computacional disponível, os estudos de avaliação e adequação adotam diferentes modelos e técnicas matemáticas e/ou simulações para chegar a uma solução. A multiplicidade de modelos e técnicas exigiu uma categorização do sistema elétrico em zonas funcionais.” (CARVALHO, 2013).

Inicialmente, o sistema de potência era dividido em três zonas funcionais: geração, transmissão e distribuição. A combinação dessas zonas resultava nos níveis hierárquicos utilizados nos estudos de confiabilidade. Um exemplo dessa divisão é apresentado por Andrade (2007), onde o nível hierárquico 1 (NH1) refere-se à avaliação da geração, o nível hierárquico 2 (NH2) é a análise de confiabilidade composta dos sistemas de geração e transmissão, enquanto o nível hierárquico 3 refere-se à avaliação do sistema completo, onde se inclui o sistema de distribuição.

A Figura 3.2 mostra um exemplo dessa divisão.

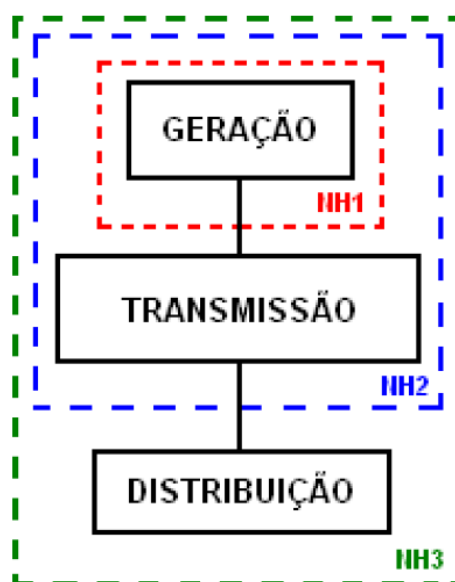


Figura 3.2: Níveis Hierárquicos
Fonte: Andrade (2007)

Porém, com o desenvolvimento dos sistemas computacionais, bem como do próprio sistema elétrico e aliado a isso sua complexidade, foi proposto um novo modelo para a divisão dos níveis hierárquicos, atualmente utilizado por diversos autores de análises de confiabilidade em sistemas de energia, bem como pela EPE em seus estudos sobre a confiabilidade do sistema de transmissão de energia elétrica brasileiro. Um exemplo da nova divisão é apresentado na Figura 3.3.

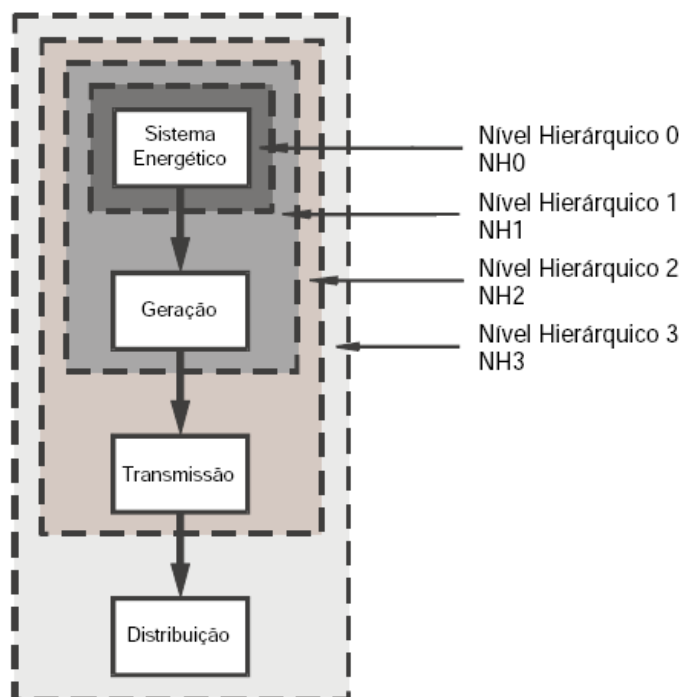


Figura 3.3: Níveis Hierárquicos – Modelo Atual
Fonte: Cassula et. al. (2003)

A partir do advento da geração distribuída em outros países, bem como a criação da resolução normativa nº 482 de 17 de abril de 2012 da ANEEL (que estabelece as condições gerais para a micro geração e minigeração distribuída), um novo modelo de níveis hierárquicos foi criado, o qual considera a inclusão dessas fontes locais de geração no sistema de distribuição (ROSA, 2009).

Tal modelo é visualizado na Figura 3.4.

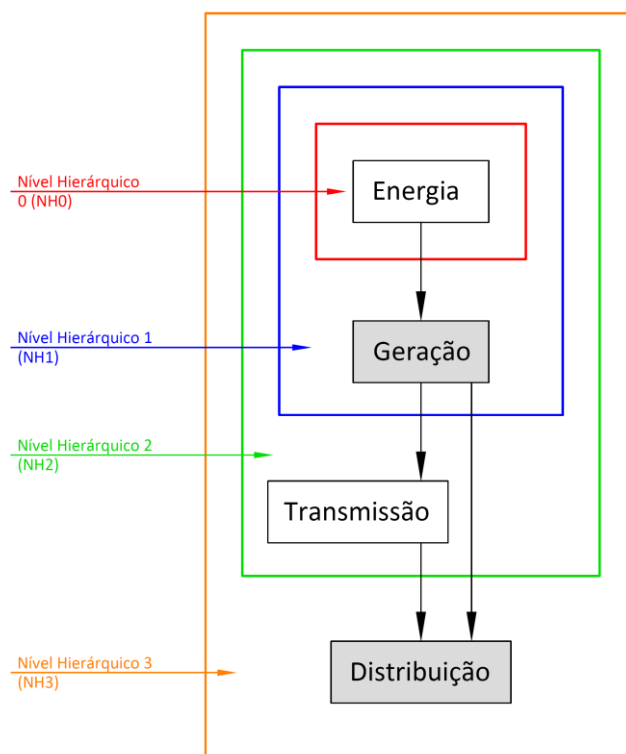


Figura 3.4: Níveis Hierárquicos – Modelo atual com geração distribuída
Fonte: Elaboração Própria

A lógica dos níveis hierárquicos é basicamente a mesma já adotada no modelo anterior, porém ocorreu a inclusão da zona definida como “sistema energético” ou “energia” (conforme o autor). Essa nova zona é responsável pela variabilidade intrínseca ou intermitência dos recursos de energia primária (mais especificamente, as renováveis) com o intuito de uma representação mais precisa da capacidade de geração disponível em cada período de tempo (CARVALHO, 2013). Complementando tal informação, Flávio (2011) informa que o nível hierárquico 0 relaciona-se também aos fatores econômicos (preço do petróleo, greve, crise, entre outros) que atingem com maior intensidade as fontes de combustíveis fósseis.

Na avaliação da confiabilidade no nível hierárquico 1 (NH1) toda a carga e toda a geração estão concentradas em uma única barra. Dessa forma, as limitações no transporte de energia pela rede de transmissão são ignoradas. Assim é possível uma rápida comparação entre carga e geração instantânea. A Figura 3.5 mostra um exemplo para representação do sistema em nível NH1.

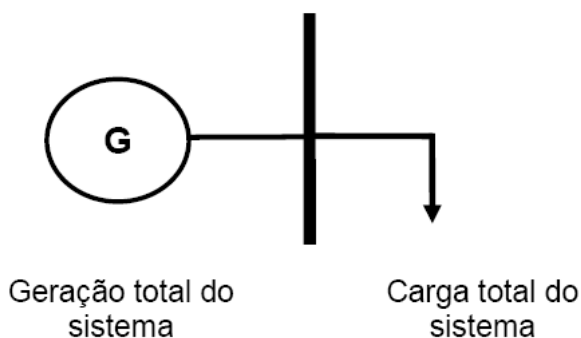


Figura 3.5: Representação de um sistema no nível NH1
 Fonte: Flávio (2011)

Já no nível hierárquico 2 (NH2), também chamada de avaliação composta, é necessário representar as limitações impostas pela rede de transmissão, conforme mostra a Figura 3.6.

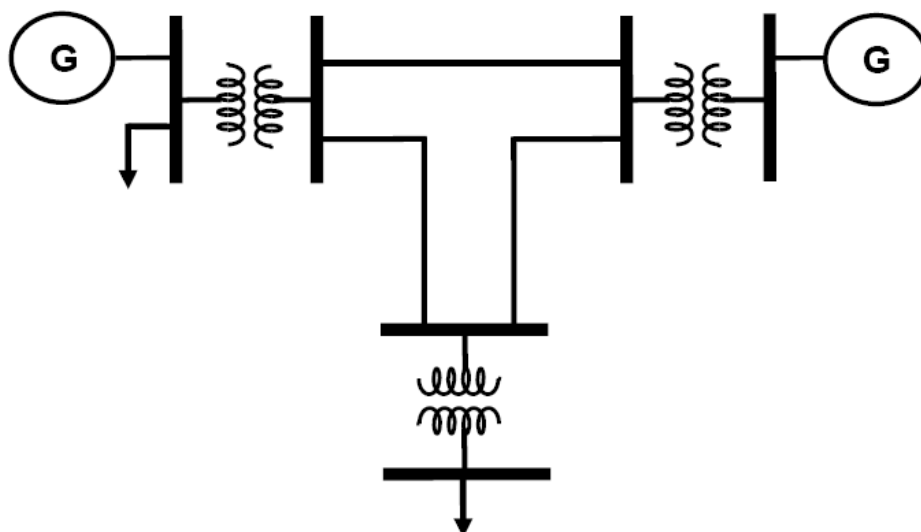


Figura 3.6: Representação de um sistema no nível NH2
 Fonte: Flávio (2011)

No nível hierárquico 3 (NH3), consideram-se além das falhas na geração e transmissão, as falhas ocorridas no sistema de distribuição. Porém essa forma de análise é pouco utilizada, devido principalmente ao grande número de componentes envolvidos na distribuição, preferindo-se dessa forma a análise de forma isolada, considerando-se a geração e transmissão 100% confiáveis. A Figura 3.7 mostra um exemplo de representação para análise do nível NH3, sendo nesse caso não representada a geração distribuída.

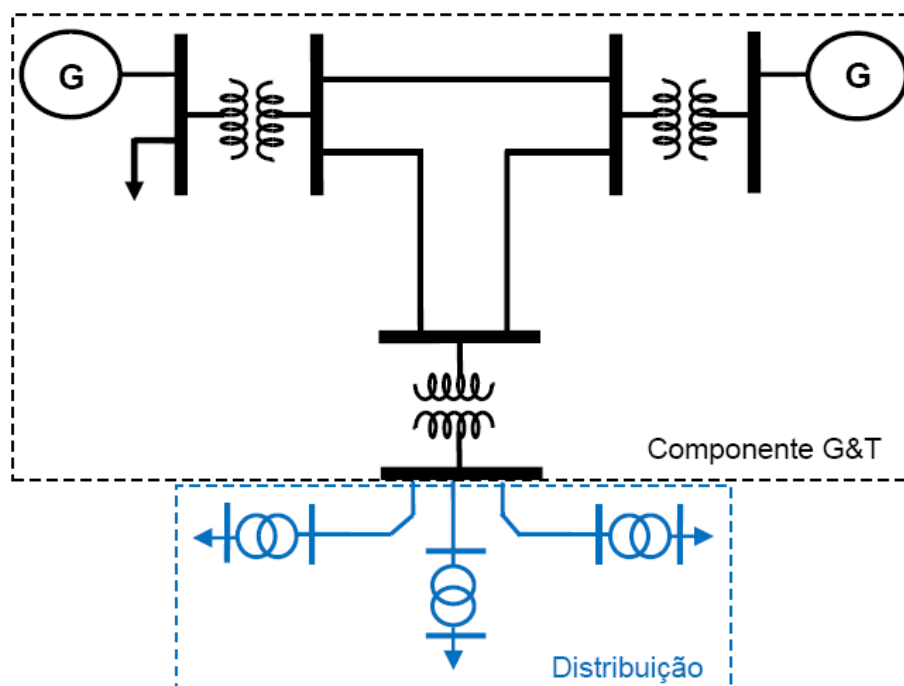


Figura 3.7: Representação de um sistema no nível NH3 (sem geração distribuída)
 Fonte: Flávio (2011)

3.1.4 MÉTODOS DE SELEÇÃO DE ESTADOS

A adequação dos sistemas de potência pode ser avaliada através de vários métodos. Tais métodos podem ser baseados em análises analíticas ou através de simulações. Os métodos analíticos são simples e fáceis de serem usados. Eles dependem de uma análise matemática para calcular o valor exato dos índices de confiabilidade ou, pelo menos, obter aproximações válidas (CARVALHO, 2013).

Por outro lado, os métodos que se utilizam de simulações fornecem estimativas dos índices de confiabilidade delimitadas por um intervalo de confiança simulando o comportamento estocástico do sistema (CARVALHO, 2013).

Ainda segundo Carvalho (2013), os métodos analíticos são divididos em métodos de enumeração ou de aproximação. Apesar de serem didáticos e fáceis de serem utilizados, possuem dois inconvenientes principais:

- O comportamento complexo do sistema só pode ser capturado em modelos matemáticos simplificados, bem como a consideração de diversas suposições;
- Como o número de estados aumenta exponencialmente com o número de componentes, algum tipo de corte nos estados pode ser necessário.

Dessa forma, a veracidade dos índices de confiabilidade obtidos por esses métodos às vezes pode ser questionável.

Já os métodos de simulação são baseados na Simulação Monte Carlo, possuindo como principal vantagem frente aos métodos analíticos o fato de que o número de amostras necessárias para garantir um determinado nível de precisão para as estimativas não depende diretamente do tamanho do sistema em estudo, mas sim sobre sua confiabilidade, uma vez que o processamento dos dados é fundamentado nos índices de confiabilidade. Assim, são classificados de acordo com a forma como os estados do sistema são amostrados (CARVALHO, 2013).

Sobre as áreas em que se utilizam cada um dos métodos, Flávio (2011) diz:

“De modo geral, as metodologias analíticas adotam a representação do sistema por espaço de estados e são utilizadas apenas para confiabilidade da geração, ao passo que as técnicas de simulação empregam tanto a representação por espaço de estados quanto à representação cronológica e são utilizadas tanto na confiabilidade da geração quanto na confiabilidade composta”.

A seguir são apresentados os dois métodos principais utilizados em análises de confiabilidade de sistemas elétricos de potência: enumeração de estados e simulação Monte Carlo.

3.1.4.1 ENUMERAÇÃO DE ESTADOS

O método de enumeração parte de uma lista de contingências especificadas e seleciona uma pequena porcentagem do total dos estados possíveis, levando em conta o grau de severidade/probabilidade. O impacto de uma contingência para o cenário adotado, severidade da contingência, é medido pelo índice de desempenho (NOGUEIRA, 2003).

O objetivo principal do método de enumeração de estados é avaliar todos os estados de relevância a análise do sistema. Ele é um método conceitualmente atrativo, porque é uma extensão direta da análise de contingências, ou “N-1”, critério determinístico muito utilizado por operadores e planejadores de sistemas. Porém, este método tem sua aplicabilidade limitada na avaliação da confiabilidade composta para sistemas de grande porte (RESENDE, 2002).

Essa limitação deve-se, como apresentado anteriormente, ao fato do número de estados aumentarem exponencialmente com o número de componentes do sistema. Por exemplo, um sistema contendo m equipamentos representados por um modelo de Markov a dois estados (operando ou em falha) possui 2^m estados possíveis (FLÁVIO, 2011).

Por esse motivo, Flávio (2011) informa em quais situações o método de enumeração de estados torna-se eficaz:

“O método de enumeração de estados é eficaz para avaliação da confiabilidade da transmissão, em que as taxas de falha dos equipamentos são muito pequenas, e contingências múltiplas podem ser desprezíveis. Para a confiabilidade composta de geração e transmissão, um número elevado de combinações deve ser avaliado em função das elevadas indisponibilidades dos geradores. Portanto, o método é menos indicado na avaliação da confiabilidade composta de sistemas de grande porte”.

3.1.4.2 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Outro método para análise de confiabilidade, o método da simulação de Monte Carlo, consiste no sorteio do estado das variáveis quando suas distribuições de probabilidade são conhecidas (NOGUEIRA, 2003).

De uma forma geral, o problema pode ser dividido em três funções principais: amostragem dos estados do sistema, análise da adequação dos estados amostrados e cálculo de índices de confiabilidade (ANDRADE, 2007).

Pode ser classificado em duas categorias: sequencial e não sequencial, onde:

- Sequencial: o processo estocástico é simulado pela amostragem das transições ao longo do tempo de todas as variáveis aleatórias do sistema; e
- Não Sequencial: o processo estocástico é simulado pela amostragem de eventos, ou seja, “retratos” dos estados das variáveis aleatórias do sistema.

3.1.4.2.1 FORMA SEQUENCIAL

O método sequencial da simulação de Monte Carlo é uma das ferramentas mais poderosas para a avaliação da adequação de sistemas elétricos de energia, devido aos fatores elencados por Carvalho (2013):

“Através da amostragem seqüencial da duração dos estados, este método pode incluir naturalmente o comportamento estocástico dos componentes do sistema, a intermitência dos recursos de energia renovável, as regras de operação dos reservatórios das centrais hídricas, a manutenção programada das unidades de geração, a variação horária de carga, etc. Além disso, este método pode fornecer resultados únicos, tais como a distribuição de probabilidade dos índices de fiabilidade”. (CARVALHO, 2013).

Completando a informação dada anteriormente, Flávio (2011) cita que o método sequencial da simulação de Monte Carlo permite a representação de diversos aspectos temporais, tais como: desgaste dos equipamentos em função do tempo de operação, tempos de partidas das unidades geradoras, variabilidade de ventos, etc.

As simulações de Monte Carlo sequencial “põe em movimento” as amostras, através de um relógio fictício e, e com a passagem do tempo, as seqüências de eventos são gerados sinteticamente, criando a “história de vida” do sistema elétrico de potência. Isso garante que dois estados consecutivos difiram devido ao estado de um componente. Desse modo, como já citado por outros autores, torna-se fácil a inserção de todos os aspectos cronológicos envolvidos no sistema em estudo (CARVALHO, 2013).

Um exemplo dessa forma de simulação é apresentado na Figura 3.8.

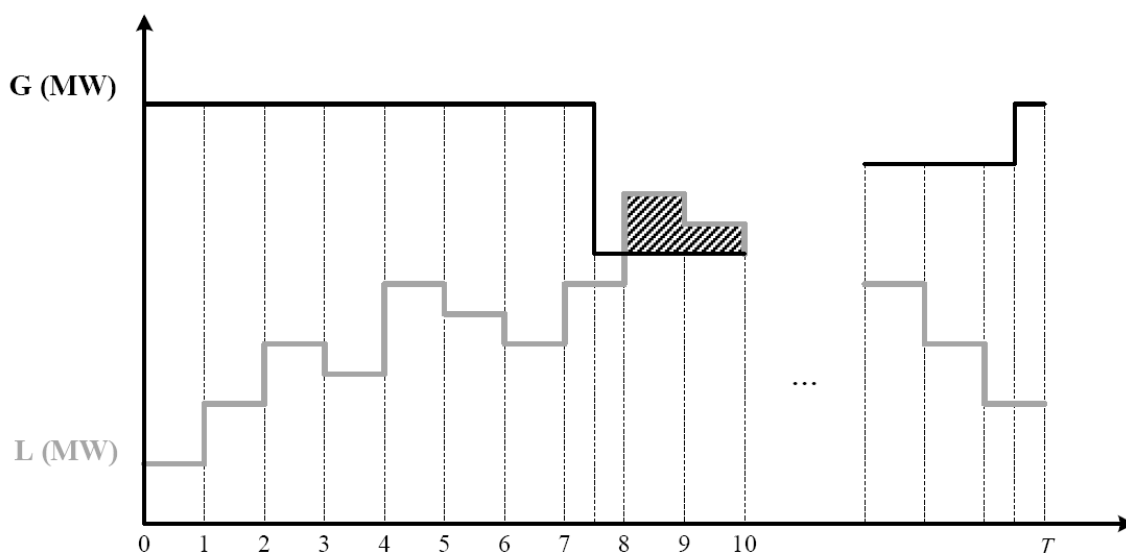


Figura 3.8: Representação simplificada da seqüência de eventos durante um período T
Fonte: Carvalho (2013)

A figura 3.8 mostra como os estados do sistema são recolhidos pelo método sequencial da simulação de Monte Carlo. Percebe-se que a transição de estado entre os diferentes níveis de carga é feito em intervalos de tempo fixos, enquanto que a duração dos estados das unidades geradoras não é fixa. A área hachurada mostra o corte de carga a ser realizado devido à insuficiência da geração para o atendimento pleno das cargas conectadas ao sistema.

Essa característica coloca a simulação de Monte Carlo sequencial como a técnica mais indicada para lidar com sistemas nos quais a reprodução da cronologia de ocorrência de eventos é de fundamental importância para uma correta avaliação dos índices de confiabilidade (FLÁVIO, 2011).

Como na representação cronológica, dois estados consecutivos diferem um do outro apenas pelo estado de um de seus componentes, o esforço computacional requerido é significativamente maior que aquele apresentado pelas técnicas baseadas em representação por espaço de estados (RESENDE, 2002).

Por esse motivo, a simulação pode acarretar em tempos de processamento muito elevados e dessa forma tem sido evitada, apresentando a certo tempo grande resistência por parte dos setores responsáveis pelo planejamento dos sistemas elétricos de potência (FLÁVIO, 2011).

3.1.4.2.2 FORMA NÃO SEQUENCIAL

A simulação de Monte Carlo não sequencial tem se mostrado bastante eficiente na avaliação da confiabilidade de sistemas de potência, principalmente nos casos em que se deseja avaliar a confiabilidade composta e o custo computacional é o fator determinante na escolha da metodologia usada (FLÁVIO, 2011).

Tal método se torna atrativo quando a ocorrência de contingências de maior ordem é mais provável, como por exemplo, em estudos de confiabilidade composta, uma vez que existem elevadas taxas de indisponibilidade dos geradores (RESENDE, 2002).

Nessa metodologia, a seleção dos estados do sistema, diferentemente do que ocorre na forma sequencial, é fundamentada na distribuição de probabilidade de

seus componentes, sendo essa distribuição acessada por meio de representações Markovianas como a apresentada na Figura 3.9 (RESENDE, 2002).

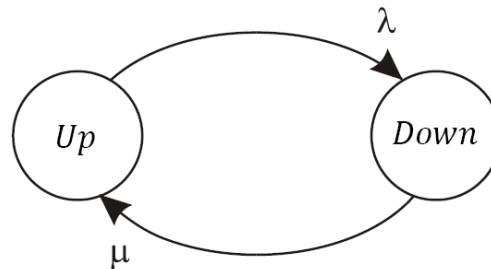


Figura 3.9: Modelo de Markov com dois estados
Fonte: Flávio (2013)

Sendo conhecidas as taxas de falha (λ) e reparo (μ), determina-se a probabilidade de ocorrência do estado de falha P_{down} , conforme a equação (3.1).

$$P_{down} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (3.1)$$

Em seguida, o estado de cada componente é determinado amostrando-se números com distribuição uniforme $U_i [0,1]$.

Dessa forma, o componente “1” estará em operação se $U_i > P_{down}$ ou estará em falha caso contrário. Deste modo, determinam-se os estados de todos os componentes e, conseqüentemente, o estado do sistema.

O processo de amostragem é repetido “n” vezes e os índices são estimados através da média amostral de funções teste F apropriadas:

$$E(F) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n F(X^k) \quad (3.2)$$

Pelo fato de $F(X)$ ser uma variável aleatória, a sua média também será uma variável aleatória com variância dada por:

$$V[E(F)] = \frac{V(F)}{n} \quad (3.3)$$

em que $V(F)$ é a variância amostral da função $F(X)$.

Dessa forma, percebe-se que o resultado obtido possui ligação direta com o número de amostras analisadas.

Como todo processo de amostragem, o método não seqüencial de Monte Carlo possui uma incerteza representada pelo coeficiente de variação (que possui como objetivo principal a verificação da convergência do processo de simulação). A equação (3.4) mostra como é realizado o cálculo do coeficiente de variação.

$$\beta = \frac{\sqrt{V(E(F))}}{E(F)} \times 100\% \quad (3.4)$$

As equações (3.5) a (3.7) são exemplos de funções teste utilizadas na simulação Monte Carlo não seqüencial para o cálculo dos índices LOLP, EPNS e LOLF (que serão detalhados adiante).

$$F_{LOLP}(x^k) = \begin{cases} 0, & \text{se } x^k \text{ é estado de sucesso} \\ 1, & \text{se } x^k \text{ é estado de falha} \end{cases} \quad (3.5)$$

$$F_{EPNS}(x^k) = \begin{cases} 0, & \text{se } x^k \text{ é estado de sucesso} \\ \Delta P_k, & \text{se } x^k \text{ é estado de falha} \end{cases} \quad (3.6)$$

onde ΔP_k representa o montante de carga cortado por insuficiência de geração ou limites de segurança da transmissão.

$$F_{LOLF}(x^k) = \begin{cases} 0, & \text{se } x^k \text{ é estado de sucesso} \\ \Delta \lambda_k, & \text{se } x^k \text{ é estado de falha} \end{cases} \quad (3.7)$$

onde $\Delta \lambda_k$ representa a soma das taxas de transição de x^k para todos os estados de sucesso que podem ser alcançados mediante uma transição.

Vale lembrar que em seus estudos, a EPE utiliza a simulação de Monte Carlo não seqüencial, já que é o princípio do programa NH2 e o tempo de processamento das informações é menor quando comparado à simulação de Monte Carlo seqüencial. Por esse motivo, no presente estudo também será utilizada a simulação de Monte Carlo não seqüencial.

3.1.5 ÍNDICES DE CONFIABILIDADE

Os índices de confiabilidade podem ter diferentes denominações, conforme os níveis hierárquicos envolvidos no estudo. Apesar dessa ampla gama de denominações, os índices de confiabilidade podem ser categorizados como índices de probabilidade, índices energéticos e índices de freqüência e duração (CARVALHO, 2013).

Os índices tradicionalmente calculados na análise de confiabilidade de sistemas compostos de geração e transmissão referem-se à falha, a qual se caracteriza pela insuficiência de geração e/ou incapacidade de transmissão. O objetivo desses índices é estimar a probabilidade de ocorrência, frequência e duração média das falhas do sistema, assim como o montante de energia não suprida e os custos associados a estas falhas (FLÁVIO, 2011).

Segundo Carvalho (2013), dentre os índices de probabilidade pode-se citar a LOLP (*Loss of Load Probability*) e a LOLE (*Loss of Load Expectation*). Já os índices de energia são a EPNS (*Expected Power Not Supplied*) e EENS (*Expected Energy Not Supplied*). Os índices de frequência e duração são a LOLF (*Loss of Load Frequency*) e LOLD (*Loss of Load Duration*).

Todos esses índices são detalhados a seguir.

3.1.5.1 LOLP

Esse índice indica a probabilidade de perda de carga (*Loss of Load Probability*), ou seja, representa a probabilidade da capacidade disponível ser menor que a carga a ser alimentada. A LOLP é calculada da seguinte maneira:

$$LOLP = \sum_{i \in S} P_i \quad (3.8)$$

onde P_i é a probabilidade do estado i do sistema e S refere-se ao conjunto de todos os estados associados com corte de carga.

3.1.5.2 LOLE

Esse índice indica o número esperado de horas de *déficit* de potência (*Loss of Load Expectation*), ou seja, trata-se do número de horas média em um dado período no qual se espera que a demanda de energia exceda a capacidade de geração disponível. A equação (3.9) mostra como a LOLE é calculada:

$$LOLE = LOLP \cdot T \quad (3.9)$$

onde T é o período de análise, que pode ser mensal, anual, ou outro período desejado. Caso seja considerado o período anual (8.760 h/ano), a fórmula de cálculo da LOLE se transforma na equação (3.10):

$$LOLE = LOLP .8760 \quad (3.10)$$

3.1.5.3 LOLF

Trata-se do índice responsável por demonstrar a frequência de perda de carga (*Loss of Load Frequency*) e é expresso em número de ocorrências no período (normalmente 1 ano). A LOLF é calculada conforme a equação (3.11):

$$LOLF = \sum_{i \in S} (F_i - f_i) \quad (3.11)$$

onde F_i é a frequência de saída do estado i do sistema e f_i é a porção de F_i , que corresponde a não ultrapassagem da barreira entre o conjunto de estados com perda de carga e o conjunto de estados sem perda de carga. A frequência do i -ésimo estado F_i pode ser calculada conforme a equação (3.12):

$$F_i = p_i \sum_{j \in M} \lambda_j \quad (3.12)$$

onde λ_j é a taxa de saída associada ao estado do j -ésimo componente no estado i do sistema e M é o conjunto de todos os componentes do sistema.

3.1.5.4 LOLD

Mostra a duração média de perda de carga em horas. Representa o período decorrido entre a ocorrência de corte de carga (falha) e o re-estabelecimento da situação normal do sistema, com atendimento total das cargas. A LOLD é calculada conforme mostra a equação (3.13):

$$LOLD = \frac{LOLP}{LOLF} \quad (3.13)$$

3.1.5.5 LOLC

Índice que demonstra o custo proveniente da perda de carga (*Loss of Load Cost*) e representa o custo de interrupção, tornando-se o índice mais importante que representa a confiabilidade no planejamento de sistemas elétricos, sendo expresso em (R\$/ano) no caso do Brasil. Para o ano de 2014, o valor do patamar único de custo de *déficit* (definido pela nota técnica nº EPE-DEE-NT-028/2014) é de R\$ 3.150,00/MWh.

3.1.5.6 EPNS

Representa o valor esperado de potência não suprida (*Expected Power Not Supplied*), ou seja, a deficiência de geração para o atendimento das cargas. A EPNS é calculada conforme a equação (3.14):

$$EPNS = \sum_{i \in S} C_i \cdot p_i \quad (3.14)$$

onde C_i é o corte de carga no estado i do sistema.

3.1.5.7 EENS

É o valor esperado de energia não suprida (*Expected Energy Not Supplied*), ou seja, qual o volume de carga (MWh) a ser retirada do sistema em ocorrência de uma falha. É um parâmetro calculado tendo-se como base um período T definido. O cálculo de tal índice é apresentado na equação (3.15):

$$EENS = EPNS \cdot T \quad (3.15)$$

onde T é o período de análise, que pode ser mensal, anual, ou outro período desejado. Similarmente à relação entre a LOLE e a LOLP, caso seja considerado o período anual, a fórmula de cálculo da EENS se transforma na equação (3.16):

$$EENS = EPNS \cdot 8760 \quad (3.16)$$

3.1.5.8 SEVERIDADE

O índice severidade é um dos mais importantes indicadores de risco probabilístico, sendo expresso em termos de minutos sistema, minutos padrão ou simplesmente minuto (LIMA, 2012).

Tal índice exprime um tempo fictício de uma perturbação imaginária que seria necessária para acumular uma energia suprida exatamente equivalente àquela calculada, se toda a carga do sistema fosse afetada (EPE, 2007).

O índice é calculado através da divisão do valor estimado de energia interrompida pela base de potência (ponta de carga do sistema). Tal valor é multiplicado por 60 para convertê-lo em minutos sistema (LIMA, 2012). Dessa forma, a expressão matemática para o cálculo da severidade é expressa por:

$$S = \frac{EENS}{PS} \cdot 60 \quad (3.17)$$

onde S é a severidade (em minutos), PS é a ponta de carga do sistema (em MW) e $EENS$ é a expectativa de energia não suprida (em MWh).

Trata-se de um índice normalizado, sendo, portanto um indicador que permite a comparação de sistemas de porte e natureza distintas (EPE, 2007).

A Tabela 3.1 apresenta a classificação da confiabilidade do sistema elétrico brasileiro para vários níveis de severidade, sendo esses valores os adotados pela EPE em seus estudos.

Tabela 3.1: Classificação do Risco pela Severidade

CLASSIFICAÇÃO	SEVERIDADE S (Sistema Minuto)	INTERPRETAÇÃO	COMENTÁRIO
Grau 0	$S < 1$	Favorável	Condição operativa de baixíssimo risco
Grau 1	$1 \leq S < 10$	Satisfatório	Condição operativa de baixo risco
Grau 2	$10 \leq S < 100$	Limítrofe	Condição operativa de risco médio
Grau 3	$100 \leq S < 1000$	Grave	Sério impacto para alguns agentes consumidores
Grau 4	$S \geq 1000$	Muito Grave	Sério impacto para muitos agentes consumidores

Fonte: EPE (2007)

3.2 FERRAMENTAS E MÉTODOS DISPONÍVEIS PARA ANÁLISE DA CONFIABILIDADE

O sistema elétrico brasileiro tem sido [muitas vezes] projetado e operado através do uso de um conjunto de critérios de confiabilidade determinísticos. Esses critérios têm cumprido um papel importante no desenho e operação do sistema durante décadas. Porém tendem à utilização menos otimizada dos recursos disponíveis e no excesso de instalações de reserva de capacidade de transmissão, possuindo assim impacto direto nos custos associados ao planejamento e operação do sistema (LIMA et. al., 2012).

Como já informado anteriormente, foi em meados da década de 70 que se iniciou a aplicação dos métodos probabilísticos para o cálculo da confiabilidade em sistemas compostos (geração e transmissão de energia) em diferentes regiões do mundo.

Segundo o documento “Estudos Associados ao Plano Decenal de Energia – PDE 2007/2016: Análise dos índices de confiabilidade do SIN”, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2007, no Brasil o estudo da confiabilidade aplicada a sistemas de potência foi iniciado na década de 70 para o sistema de geração. Em 1982 foi criado o SGC (Subgrupo de Confiabilidade), no âmbito do planejamento da transmissão, com o objetivo de estudar, divulgar e finalmente fornecer ao setor elétrico uma estrutura necessária para realização do planejamento da expansão da transmissão com critérios probabilísticos.

Neste período foi desenvolvido pelo CEPEL o programa NH2, destinado à análise de confiabilidade composta (nível hierárquico 2), que foi testado no sistema brasileiro pelo SGC em 1995 (EPE, 2007).

Apesar das metodologias probabilísticas já estarem bem desenvolvidas no âmbito do Planejamento da Expansão, a aplicação das mesmas no Planejamento da Operação ainda não atingiu um nível satisfatório no que se refere ao seu uso no processo de tomada de decisão, principalmente quando o sistema de transmissão é associado (SCHILLING et. al., 1995).

Existem diversos programas e *softwares* disponíveis no mercado (alguns mais acessíveis e outros menos), relacionados à confiabilidade e fluxo de potência em sistemas elétricos. O CEPEL disponibiliza em seu sítio eletrônico uma relação dos programas de Planejamento e Operação para a área elétrica. Tais informações são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Programas de Planejamento e Operação para a Energia Elétrica

PROGRAMA	ÁREA DE ATUAÇÃO
ANAFAS	Análise de Falhas Simultâneas
ANAREDE	Análise de Redes Elétricas
ANATEM	Análise de Transitórios Eletromecânicos
FLUPOT	Fluxo de Potência Ótimo
HARMZS	Estudos de Comportamento Harmônico e Análise Modal de Redes Elétricas
NH2	Análise da Confiabilidade de Geração e Transmissão
PACDYN	Análise e Controle de Oscilações Eletromecânicas

Tabela 3.2: Programas de Planejamento e Operação para a Energia Elétrica (continuação)

PROGRAMA	ÁREA DE ATUAÇÃO
PLANTAC	Planejamento da Transmissão usando o Valor Econômico da Confiabilidade
SAPRE	Sistema de Análise e Planejamento de Redes Elétricas

Fonte: Adaptado de DRE/CEPEL (2015)

Mais especificamente para a análise da confiabilidade de um sistema elétrico de potência, Schilling et. al. (1995) descreve outros programas disponíveis no Brasil, sendo alguns deles estrangeiros. A relação de programas de confiabilidade global disponível no Brasil é apresentada na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Programas de Confiabilidade Global disponíveis no Brasil

PROGRAMA	ORIGEM	OBSERVAÇÃO
GATOR	Flórida Power (USA)	Concepção primitiva e fora dos padrões brasileiros. Utilização descartada
FLUXP	PUC/ELETROBRÁS (Brasil)	Disponibilidade restrita. Programa de fluxo de potência probabilístico
PACOS	CESP (Brasil)	Disponibilidade restrita. Utilizado apenas na CESP
CGS	SGC-CELG (Brasil)	Programa mais difundido e utilizado (até 1993)
NH2	SGC-CEPEL (Brasil)	Distribuição recente. Atualmente é o modelo mais avançado e está disponível para todas as empresas do setor

Fonte: Adaptado de Schilling et. al. (1995)

Nesse âmbito, o ONS vem realizando uma análise de confiabilidade preditiva em todos os ciclos do PAR (Plano de Ampliações e Reforços) de Rede Básica Brasileira. Para facilitar a montagem de uma base de dados NH2 a partir de uma base ANAREDE, foi desenvolvido no ONS o programa PRE-NH2 (EPE, 2007).

A EPE utilizou em 2007 o programa NH2 para realizar as simulações e posterior obtenção dos principais índices de confiabilidade na sua primeira avaliação probabilística preditiva, em regime estacionário das Redes Básicas e de Fronteira para o patamar de carga pesada, levantando-se assim dados distintos para o sistema como um todo, por região e por nível de tensão.

Ainda assim, percebe-se que, apesar da grande disponibilidade de ferramentas computacionais destinados a confiabilidade de sistemas elétricos no Brasil, ainda é pouco difundida seu uso, inclusive dentro das concessionárias de

energia. Nesse aspecto, Lima et. al. (2012) elenca três fatores principais para essa não utilização, que são:

- Falta de conhecimento com relação às potencialidades das técnicas probabilísticas;
- Dificuldade de interpretação dos resultados; e
- Dificuldade de obtenção de dados estatísticos.

No presente estudo serão utilizados os programas ANAREDE (destinado à análise das redes elétricas de interesse) e o NH2 (para análise da confiabilidade). Tais programas serão detalhados a seguir.

3.2.1 PROGRAMA ANAREDE

O ANAREDE é o programa computacional mais utilizado no Brasil na área de sistemas elétricos de potência. É formado por um conjunto de aplicações integradas que inclui fluxo de potência, equivalente de redes, análise de contingências, análise de sensibilidade de tensão e fluxo e análise de segurança de tensão (CEPEL, 2015a).

Segundo Daher e Benedito (2014), o *software* ANAREDE é um aliado poderoso na resolução de fluxo de potência de muita complexidade e particularidades que um sistema elétrico pode apresentar.

Com relação às funcionalidades do programa ANAREDE, Santos et al. (2013) afirmam que o mesmo é um *software* destinado ao estudo de sistemas elétricos de potência, sendo esse desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica – CEPEL - na década de 90.

Com o avanço da tecnologia e informática, assim como o aumento das dimensões do sistema elétrico brasileiro, fez-se necessário o aprimoramento do *software* quando comparado ao criado na década de 90. Uma das mudanças ocorridas ao longo do tempo foi a transformação da interface de “DOS” para uma interface gráfica, facilitando a visualização dos dados e resultados.

Entre os desenvolvimentos mais recentes do ANAREDE destacam-se: modelo de curva de carga, modelo de curva de capacidade de geradores, modelo de banco de capacitores/reatores chaveados para controle de tensão, individualização

de equipamentos, algoritmo para verificação de conflito de controles e facilidades para estudos de recomposição do sistema (CEPEL, 2015a).

Entre os usuários do programa destacam-se as empresas concessionárias (a níveis de transmissão e subtransmissão), universidades, ONS, EPE, MME, ANEEL e outras (CEPEL, 2015a).

As simulações e resultados presentes nesse trabalho referem-se à versão 10.00.02, gentilmente cedida pela COPEL.

A Figura 3.10 apresenta uma visão geral do programa, incluindo o diagrama do sistema elétrico da COPEL, disponibilizada pela mesma, para fevereiro de 2015.

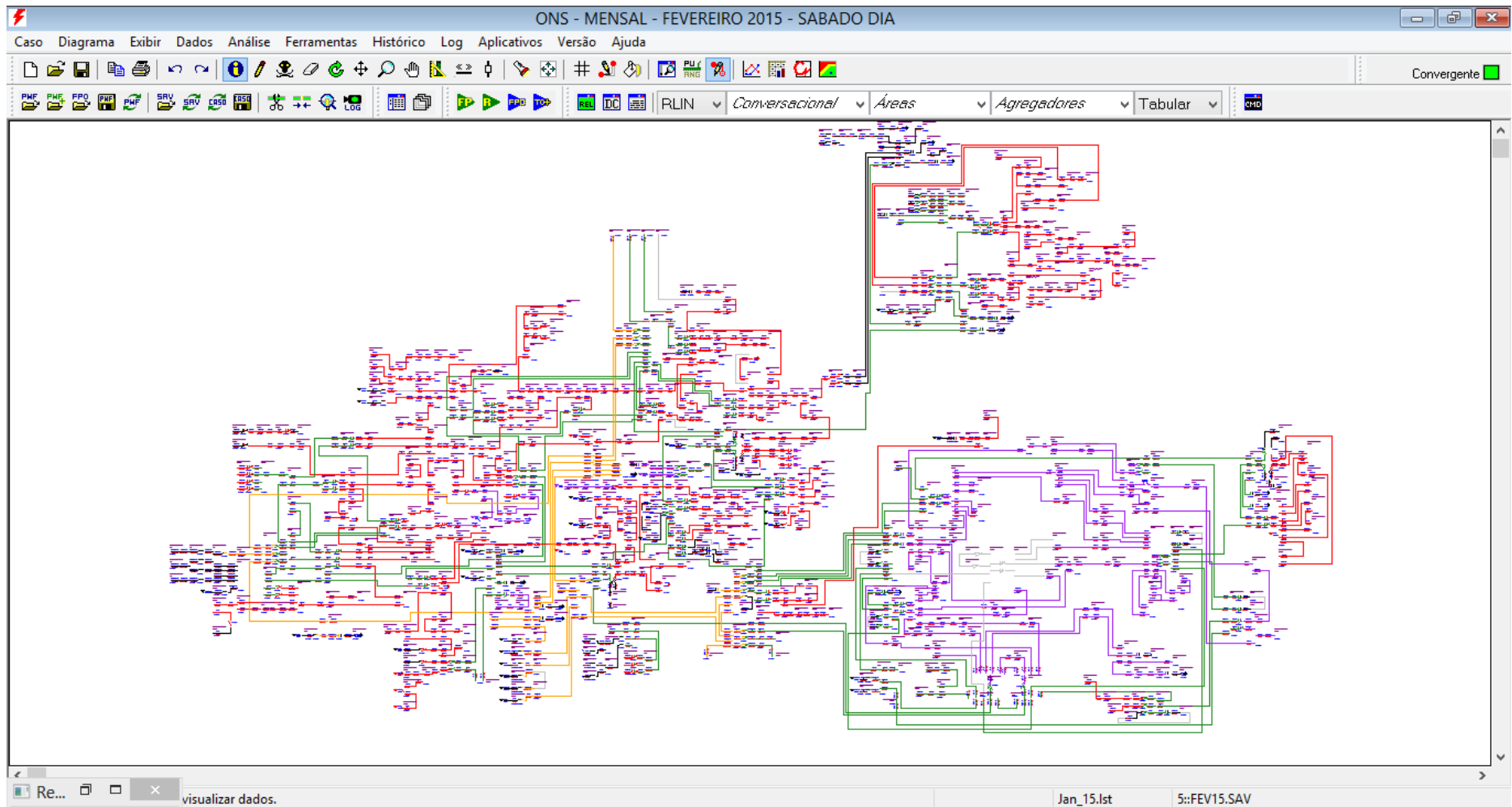


Figura 3.10: Tela do Programa ANAREDE
Fonte: Elaboração Própria

3.2.2 PROGRAMA NH2

O NH2 é um programa comercial também desenvolvido pelo CEPEL. Ele permite realizar análises de confiabilidade composta de geração e transmissão de sistemas elétricos de grande porte (LIMA et. al., 2012).

Nesse aspecto, o CEPEL (2015b) acrescenta uma característica importantíssima, principalmente no sistema elétrico brasileiro (devido as suas características construtivas, continentais e intercambiais) que é a questão da análise da confiabilidade para sistemas hidrotérmicos. Isso faz dele um dos principais *softwares* do gênero disponíveis em nível mundial.

Vale lembrar que o NH2 é usado por mais de trinta empresas do setor elétrico, incluindo o ONS e a EPE. Ele vem sendo utilizado pelo grupo de planejamento do sistema interligado nacional desde sua primeira versão. Nos últimos anos, o ONS tem utilizado o programa NH2 para o diagnóstico do desempenho do sistema elétrico brasileiro, por meio de análises de confiabilidade probabilística, considerando o horizonte de médio prazo do Plano de Ampliações e Reforços (LIMA et. al., 2012).

Além do ONS, utilizam o *software* NH2: EPE, empresas Eletrobrás, agentes de geração, transmissão e distribuição, bem como universidades com versões acadêmicas (CEPEL, 2015b).

O NH2 utiliza duas técnicas diferentes para seleção dos estados: enumeração de estados e simulação Monte Carlo, onde no primeiro caso os estados são selecionados a partir de uma lista de contingências pré-definida. Já na técnica da simulação de Monte Carlo, os estados de contingência são selecionados por amostragem (EPE, 2007).

As principais características do programa, segundo Lima et. al. (2012) são:

- Modelagem não linear da rede elétrica;
- Ambiente de solução de sistemas de potência (contemplando solução de fluxo de potência, análise de contingências, etc.);
- Fluxo de potência ótimo usado para adoção de medidas corretivas;

- Comportamento aleatório de unidades geradoras e elementos de transmissão que são representados por modelos markovianos de dois ou múltiplos estágios;
- Modo de falha comum;
- Análise de confiabilidade pelo método de enumeração de estados ou Simulação Monte Carlo;
- Índices tradicionais de frequência e duração; e
- Estatísticas adicionais.

A função objetivo do fluxo de potência ótimo é minimizar o corte de carga, através de medidas corretivas, que podem ser: redespacho de potência ativa, alteração de tensão da geração e alteração de Tap (EPE, 2007).

Confirmando as informações anteriores, o programa fornece índices clássicos de confiabilidade, como probabilidade de perda de carga, expectância da potência não suprida e severidade, além de outras estatísticas de desempenho do sistema (CEPEL, 2015b).

O diagnóstico do desempenho do sistema é realizado através da análise dos índices de confiabilidade probabilística e também de informações adicionais, tais como identificação e classificação dos casos mais severos, função de distribuição de probabilidade das variáveis selecionadas e violações estatísticas (LIMA et. al., 2012).

As simulações e resultados presentes nesse trabalho referem-se à versão 9.3.0, que assim como ocorreu com o *software* ANAREDE, foi gentilmente cedida pela COPEL.

A Figura 3.11 apresenta uma visão geral do programa, incluindo uma parte do diagrama do sistema elétrico da COPEL, destacando as subestações Santa Quitéria, Batel e Uberaba, ambas em 69 kV, bem como a subestação Uberaba 230 kV, para o mês de fevereiro de 2015.

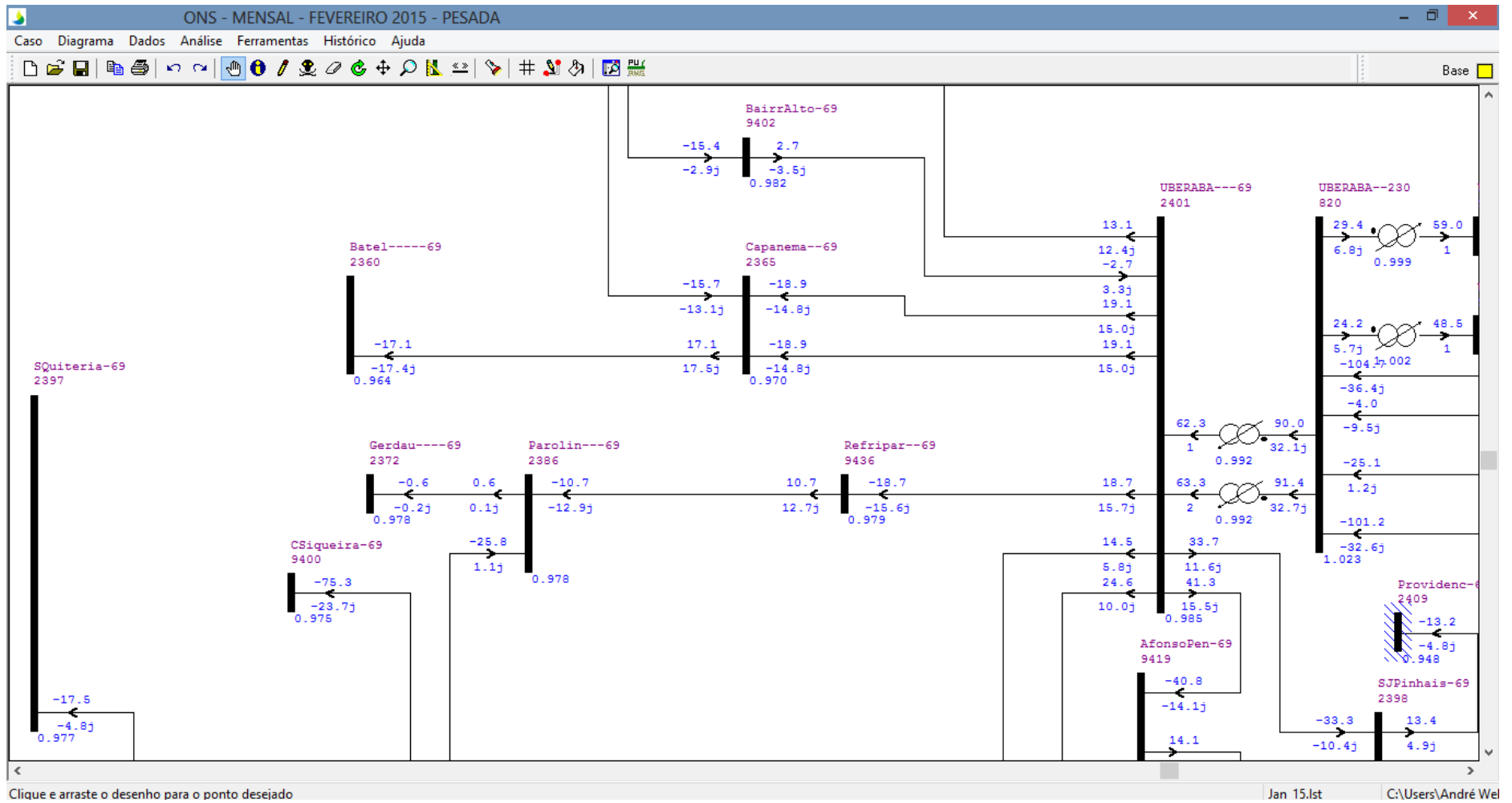


Figura 3.11: Tela do Programa NH2
Fonte: Elaboração Própria

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se a existência e disponibilidade de muitas ferramentas computacionais destinadas a análise de sistemas elétricos de potência (em especial os relacionados à confiabilidade), assim como a teoria desenvolvida para tais avaliações, variando conforme o nível hierárquico a ser estudado, número de equipamentos e sistemas, precisão desejada, entre outros aspectos técnicos.

Quanto à questão dos índices de confiabilidade, eles possibilitam uma verificação do estado operativo do sistema, bem como a previsão de confiabilidade a ser atingida no caso de obras no sistema elétrico brasileiro (como as que ocorreram para a Copa do Mundo de 2014).

4. SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado o comportamento da curva de carga verificada tanto no sistema elétrico brasileiro quanto no submercado sul para os dias de jogos da seleção brasileira, bem como na cidade de Curitiba, para os dias de jogos na Arena da Baixada.

Em seguida serão apresentados e analisados os resultados obtidos nas simulações para os índices de confiabilidade dos subsistemas de energia da COPEL, considerando os dois casos propostos: antes e depois das obras destinadas ao atendimento de energia elétrica durante a Copa do Mundo FIFA 2014.

4.1 COMPORTAMENTO DA CURVA DE CARGA

Como já explicitado nos capítulos anteriores, nos dias em que ocorrem partidas de futebol com a seleção brasileira, percebe-se um costume típico de toda a população, que para os órgãos responsáveis pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica é visto como uma anormalidade no comportamento da carga no sistema elétrico brasileiro.

Porém, será visto adiante que o padrão estimado pelos concessionários de energia por vezes se encontram inexatos, já que existem muitos fatores de incerteza que alteram a curva de demanda dos consumidores além do simples fato de haver jogo naquele dia. Entre os fatores pode-se citar: tempo, placar do jogo, entre outros.

Para o caso da Copa do Mundo FIFA 2014, os principais fatores que influenciaram negativamente a previsão realizada pela EPE e concessionárias locais de energia (como a COPEL, no estado do Paraná), foram os dias e horários dos jogos, bem como o placar da partida (em especial os jogos Brasil x Camarões e Brasil x Alemanha).

4.1.1 JOGOS DA SELEÇÃO BRASILEIRA DE FUTEBOL

A seleção brasileira de futebol participou de um total de sete jogos durante a Copa do Mundo FIFA 2014, sendo os três primeiros na fase de grupos. Maiores detalhes podem ser observados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Jogos da Seleção Brasileira

FASE	TIME RIVAL	ESTÁDIO	CIDADE	DATA	HORÁRIO
Grupos	Croácia	Arena Corinthians	São Paulo	12/06/2014	17h
	México	Castelão	Fortaleza	17/06/2014	16h
	Camarões	Nacional	Brasília	23/06/2014	17h
Oitavas de Final	Chile	Mineirão	Belo Horizonte	28/06/2014	13h
Quartas de Final	Colômbia	Castelão	Fortaleza	04/07/2014	17h
Semi-Final	Alemanha	Mineirão	Belo Horizonte	08/07/2014	17h
3º Lugar	Holanda	Nacional	Brasília	12/07/2014	17h

Fonte: Elaboração Própria

A seguir são apresentados os resultados obtidos para cada um dos jogos da seleção brasileira de futebol na Copa do Mundo FIFA 2014. Dentre os resultados estão os boletins oficialmente apresentados por meio do sítio eletrônico do ONS, bem como informações levantadas durante as reuniões gerenciais entre os demais setores e órgãos do setor elétrico após a realização do evento.

Vale ressaltar que os dados disponibilizados acerca das reuniões gerenciais referem-se apenas ao submercado sul, não sendo apresentadas nos boletins oficiais do ONS, sendo estes obtidos através de contatos junto à COPEL.

4.1.1.1 BRASIL X CROÁCIA

O primeiro dia da Copa do Mundo FIFA 2014 contou não só com o jogo entre Brasil x Croácia como também a abertura do campeonato, realizada momentos antes da partida², tornando a curva de carga atípica quando comparada a outros dias de jogos da seleção brasileira.

² A abertura da Copa do Mundo FIFA 2014 teve início às 15h, e duração aproximada de 30 minutos. Já o jogo entre Brasil x Croácia iniciou-se às 17h.

A Figura 4.1 apresenta o comportamento da carga no SIN em MW, no período compreendido entre às 14h45min e 19h25min, evidenciando-se assim o período que antecedeu o jogo bem como instantes após o término do jogo.

O planejamento foi realizado utilizando-se a curva do dia 05/06/2014 (uma semana antes do jogo), pois representa o comportamento da carga para uma quinta-feira sob as condições normais de operação.

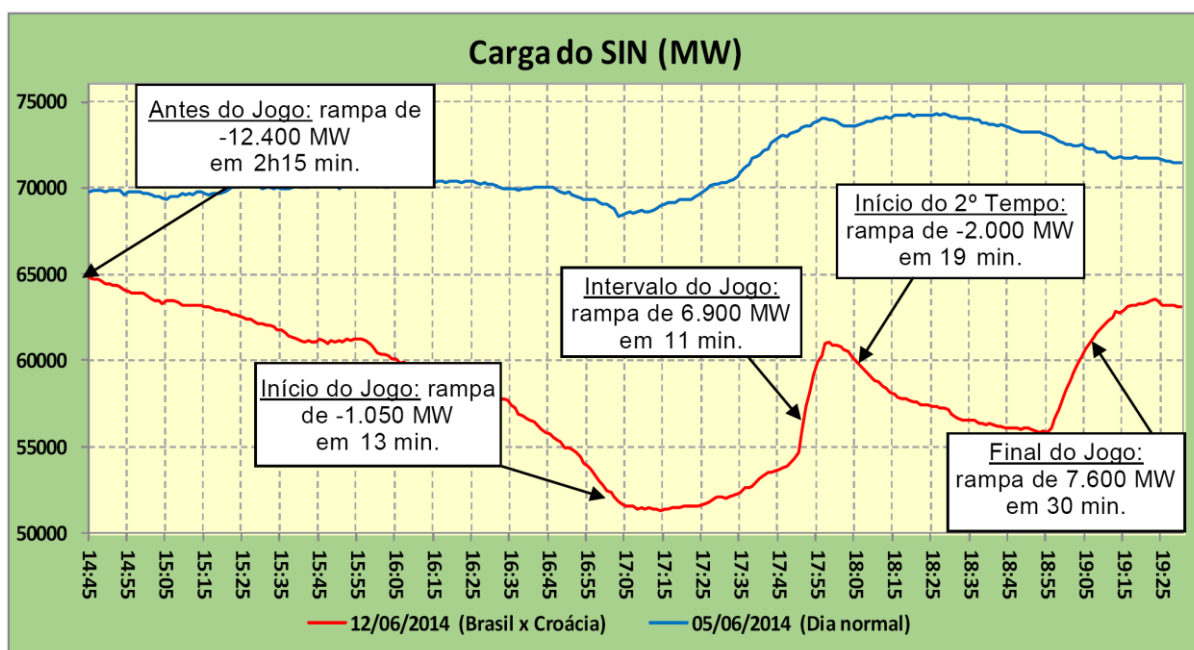


Figura 4.1: Comportamento da Carga no SIN em 12/06/2014
Fonte: ONS (2014a)

Percebe-se a partir da Figura 4.1 o decréscimo de aproximadamente 13.500 MW da carga no SIN, no período compreendido em 2 horas e 30 minutos. Esse decréscimo equivale a 17,5% do verificado às 14h45min.

Outro aspecto importante ocorrido em 12/06/2014 foi o fato de que durante o primeiro tempo do jogo iniciou-se o período natural de ponta do sistema (entre 17h30min e 20h30min para o sistema elétrico brasileiro como um todo), provocando um aumento de 2.000 MW na carga consumida em um período de cerca de 20 minutos. Porém, quando comparado a um dia normal (representado em azul na Figura 4.1), percebe-se que a carga verificada no dia 12 de junho de 2014 foi cerca de 18.000 MW inferior ao dia utilizado no planejamento.

Durante o intervalo do jogo verifica-se uma rampa de 6.900 MW em 11 minutos, o que resulta em um acréscimo em torno de 627 MW/min. Tal

comportamento será verificado em outros jogos da seleção brasileira durante a Copa do Mundo FIFA 2014 (item 4.1.1.2 a 4.1.1.7), demonstrando assim um comportamento típico da população durante os intervalos dos jogos (pode-se citar o acionamento de aparelhos de microondas, fornos elétricos, chuveiros, etc.).

A redução no consumo para o segundo tempo não foi tão acentuada quanto ao primeiro devido ao fato de neste instante já se encontrarem em funcionamento a iluminação pública das vias públicas, causando um acréscimo natural da carga consumida no SIN.

A Figura 4.2 apresenta o comportamento da carga para o submercado sul. Cabe ressaltar que para o subsistema sul é possível verificar a evolução da carga ao longo do período de 24 horas, o que não é possível na figura 4.1.

Outro aspecto importante a ser destacado para o caso do submercado sul, que diferentemente dos boletins oficiais do ONS, é a apresentação da previsão de comportamento da carga especificamente para os dias dos jogos da seleção brasileira. Isto pode ser verificado na figura 4.2, que apresenta duas curvas distintas para dias com e sem jogo, bem como a curva verificada no dia do jogo entre a seleção brasileira e croata.

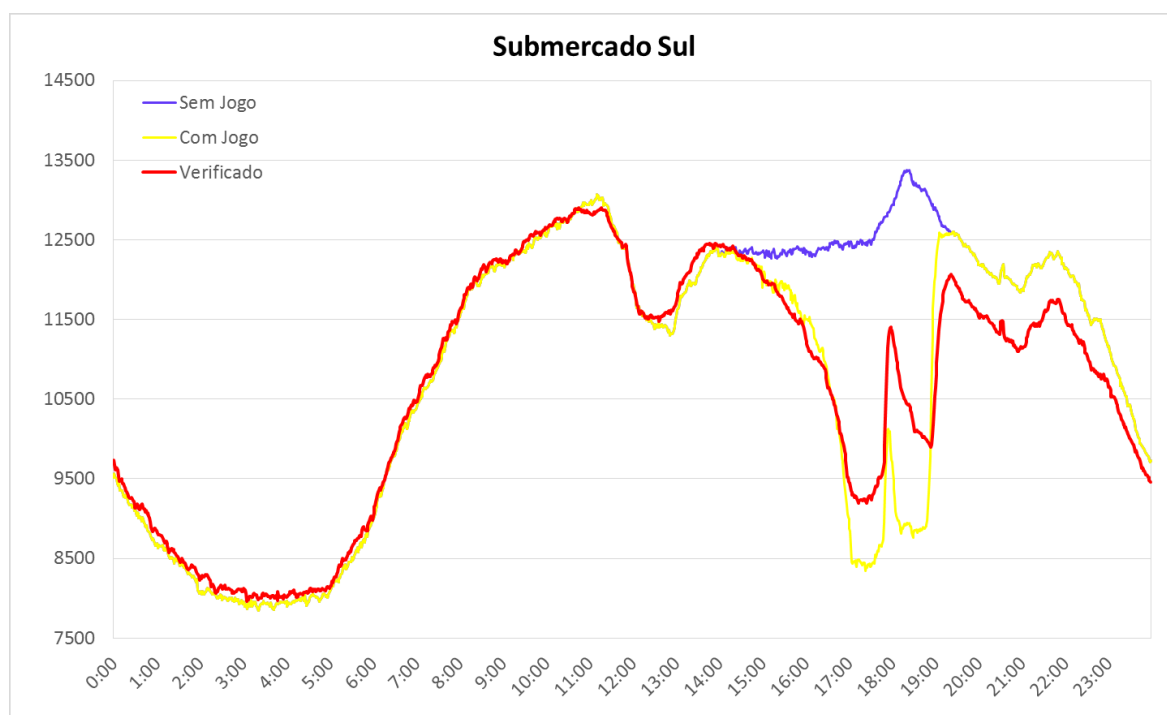


Figura 4.2: Comportamento da Carga no Submercado Sul em 12/06/2014
Fonte: Adaptado de ONS (2014b)

Percebe-se que a carga verificada no submercado sul nos períodos que antecederam o jogo do Brasil contra a Croácia, bem como instantes após o término do jogo, seguiu o mesmo padrão observado no sistema interligado nacional (SIN).

Na Figura 4.2 verifica-se que a carga demandada pelo submercado sul às 14h45min foi em torno de 12.260 MW, o que equivale a 18,9% de toda a carga registrada no SIN no mesmo instante. Também é possível verificar que após o término do jogo a carga não retornou aos patamares normais, chegando à ordem de 760 MW às 21h.

Outro aspecto importante da figura 4.2 é o fato do planejamento realizado para o dia 12 de junho de 2014, pressupôs um decréscimo mais acentuado da carga durante o tempo regular de jogo, o que não foi verificado na prática, pois próximo às 17h30min o consumo verificado foi de 805 MW inferior ao esperado, e às 18h30min ser 1.260 MW abaixo.

4.1.1.2 BRASIL X MÉXICO

A Figura 4.3 apresenta o comportamento da carga no SIN para o dia 17/06/2014, onde ocorreu o jogo da Copa do Mundo entre a seleção brasileira e a seleção mexicana.

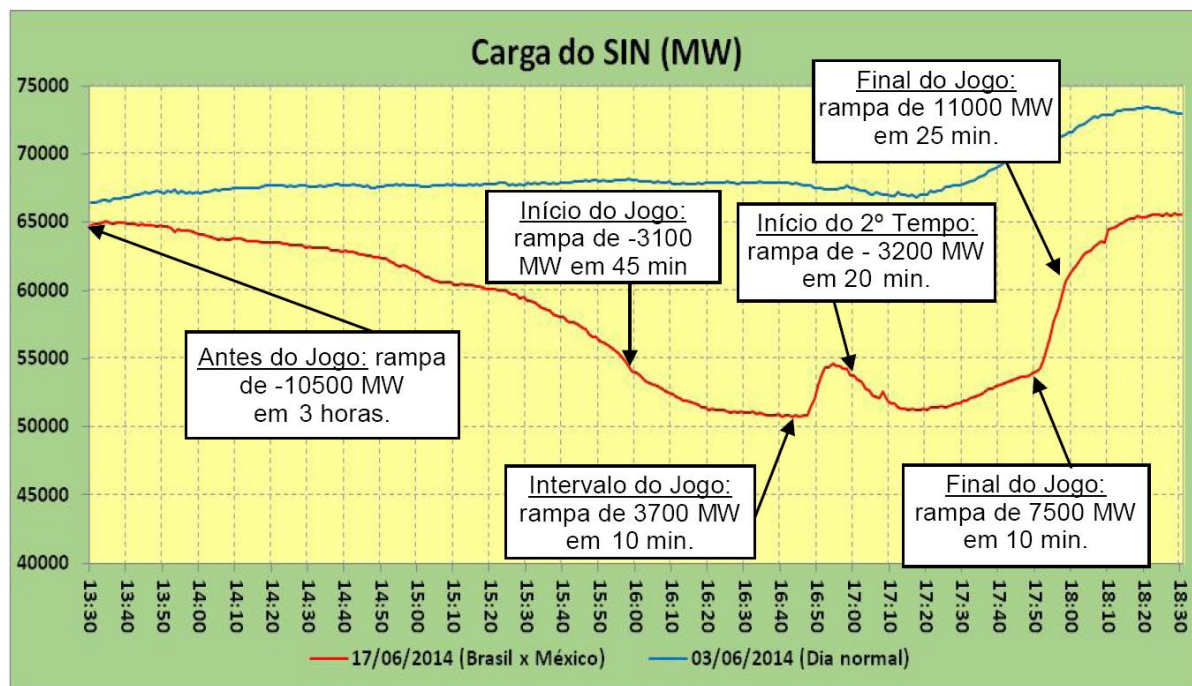


Figura 4.3: Comportamento da Carga no SIN em 17/06/2014
Fonte: ONS (2014a)

Na Figura 4.3 é possível perceber que, diferentemente do que ocorreu no dia 12/06/2014 (figura 4.1), a carga verificada no sistema se apresentou próxima ao previsto até as 13h30min, onde a partir desse momento iniciou-se a redução de carga em razão do jogo, uma vez que muitas empresas e instituições liberaram seus funcionários e colaboradores para assistirem o jogo em suas casas.

Como o início do jogo se deu às 16h, ao invés das 17h do jogo anterior, é possível perceber que o horário de ponta não coincidiu com o período regular do jogo. Nos instantes finais do jogo, verifica-se uma rampa total de 18.500 MW em 35 minutos, devido, entre outros motivos, ao início do horário de ponta do sistema. Verifica-se que ambos os tempos regulares do jogo apresentaram comportamentos semelhantes, uma vez que as reduções de carga foram de 3.100 e 3.200 MW durante o 1º e 2º tempo, respectivamente, com um acréscimo de 3.700 MW no intervalo.

A Figura 4.4 apresenta o comportamento da carga no dia 17/06/2014 para o subsistema sul, comparando-o com o observado no dia 12/06/2014 (jogo do Brasil x Croácia).

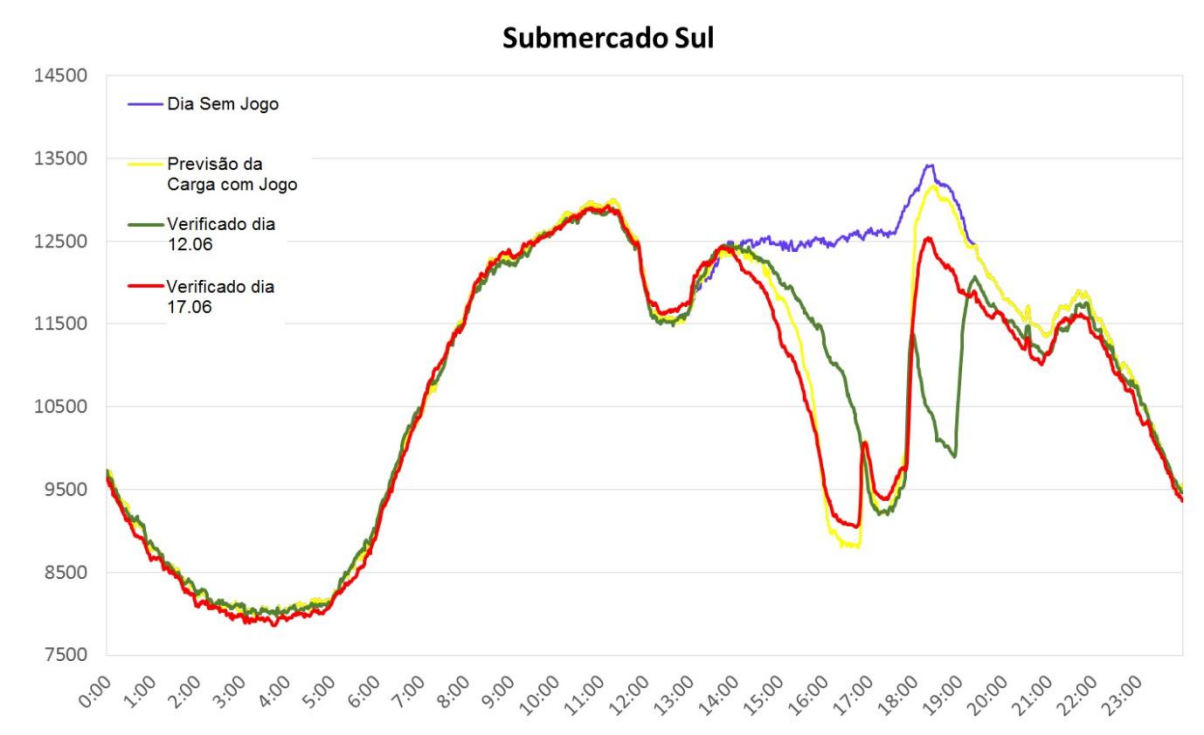


Figura 4.4: Comportamento da Carga no Submercado Sul em 17/06/2014
Fonte: Adaptado de ONS (2014b)

A redução da carga consumida iniciou-se às 14h, mantendo-se essa situação até o início do jogo, resultando em uma redução total de 2.620 MW em duas horas, ou seja, uma média de 1.310 MW/h. Vale lembrar que a rampa observada no dia (curva vermelha), quando comparada à observada em um dia sem jogo (curva azul), apresenta uma inclinação de 60° descendente.

A rampa observada durante o período do intervalo foi de 990 MW, o que equivale a 27% ao observado no SIN.

Assim como ocorreu no SIN, a curva de carga ao final do jogo apresentou uma inclinação de 88° nos instantes iniciais e um posterior alívio no crescimento da energia consumida, resultando em uma inclinação média de 78° ascendente, o que culminou em um acréscimo de 2.740 MW em aproximadamente 30 minutos no submercado sul. Vale ressaltar que, no horário ao final do jogo, coincidiu com o acionamento da iluminação pública de diversas cidades brasileiras, incluindo as da região sul do país.

4.1.1.3 BRASIL X CAMARÕES

O terceiro jogo na Copa do Mundo FIFA 2014 da seleção brasileira foi contra Camarões, no dia 23/06/2014. A Figura 4.5 mostra a evolução da carga no SIN entre 13h e 19h15min.

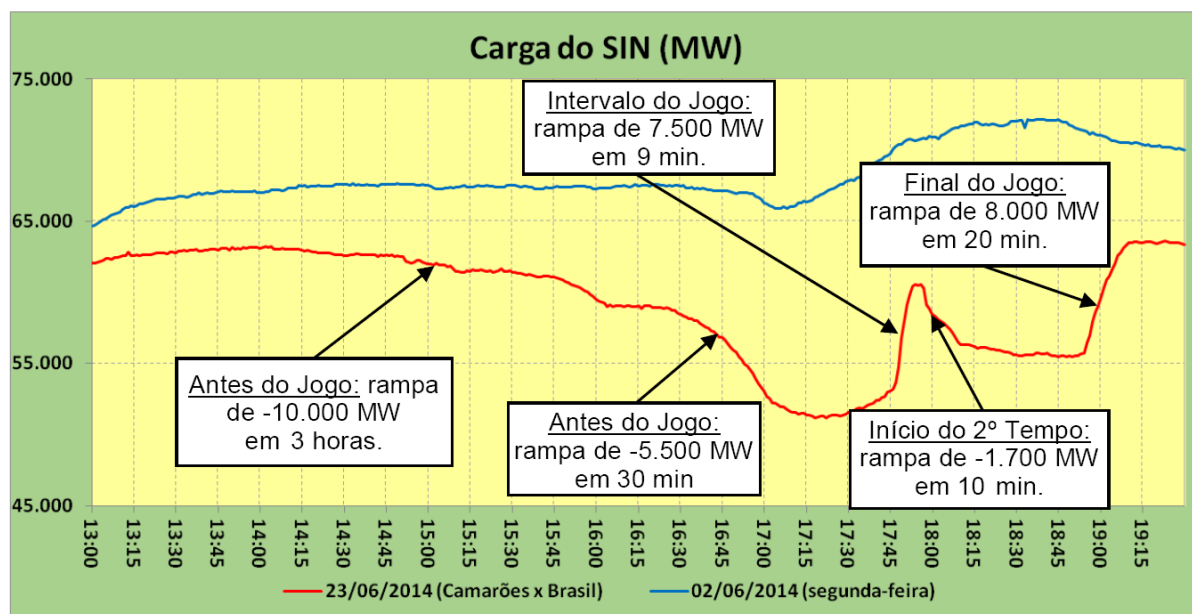


Figura 4.5: Comportamento da Carga no SIN em 23/06/2014

Fonte: ONS (2014a)

Verifica-se que, assim como ocorreu no dia 12/06/2014, a ponta do sistema iniciou-se durante o primeiro tempo regular do jogo, como pode ser observado na figura 4.5 a elevação de cerca de 1.800 MW entre as 17h30min e 17h45min.

Após este horário, com o fim do término do 1º tempo, a rampa de carga foi 7.500 MW em 9 minutos, um acréscimo considerado crítico segundo o ONS, necessitando o acionamento de usinas térmicas a fim de suprir essa elevação quase instantânea de carga demandada no sistema elétrico brasileiro.

Apesar do decréscimo nos instantes iniciais do 2º tempo se apresentarem pequenos quando comparados a outros dias de jogos, a carga no sistema elétrico brasileiro se comportou de forma semelhante ao dia 12/06/2014, onde a redução observada ao longo do segundo tempo foi de aproximadamente 5.000 MW.

Já a Figura 4.6 apresenta o comportamento da carga no submercado sul, onde é possível verificar o comportamento no caso de um dia normal (sem jogo), a previsão e o verificado para o dia em questão.

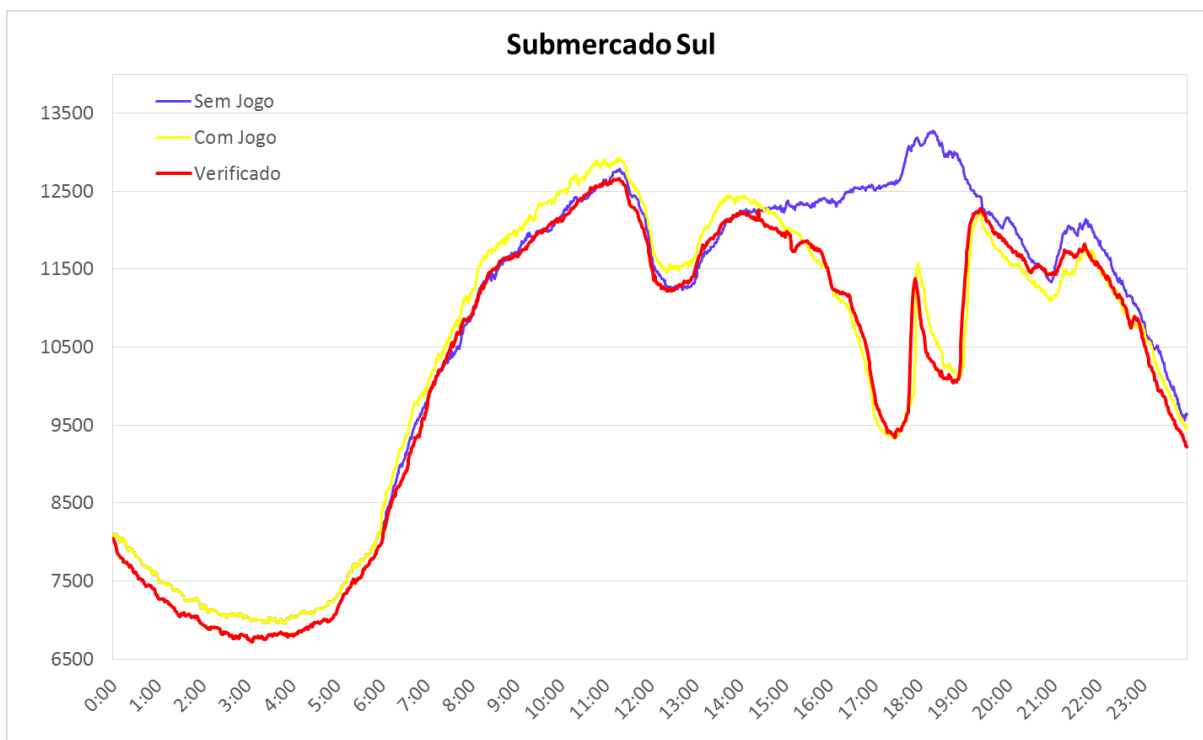


Figura 4.6: Comportamento da Carga no Submercado Sul em 23/06/2014
Fonte: Adaptado de ONS (2014b)

Percebe-se que, diferentemente do ocorrido no dia 12/06/2014, ao final do jogo o consumo do submercado sul retornou próximo aos patamares considerados no planejamento, apresentando uma elevação máxima de 315 MW às 21h (contra os 760 MW do dia 12/06).

Vale lembrar que durante todo o dia 23/06/2014, o comportamento da carga ficou próximo ao planejado, relacionando-se principalmente à demanda de um dia comum (curva azul) até as 14h, quando se iniciaram as reduções de consumo devido ao jogo, não caracterizando dessa forma, grandes problemas aos controles e agentes de geração, transmissão e distribuição de energia do submercado sul.

Comparando-se a um dia normal (curva azul) a diferença de carga demandada no pico foi de 2.950 MW (às 18h25min). Ao final do jogo, assim como ocorreu no SIN, a curva de demanda apresentou uma rampa ascendente de aproximadamente 2.200 MW em um período de 25 minutos.

4.1.1.4 BRASIL X CHILE

Este foi o quarto jogo da seleção brasileira na Copa do Mundo de 2014, já na etapa das oitavas de final, disputado em 28/06/2014 (sábado) no estádio Mineirão. A Figura 4.7 apresenta o comportamento da carga no Sistema Elétrico Brasileiro para tal dia, ressaltando que é apresentado apenas o período entre às 10h30min e 16h30min, sendo este período equivalente a 2 horas e 30 minutos anteriores ao início do jogo e os momentos posteriores ao final do mesmo.

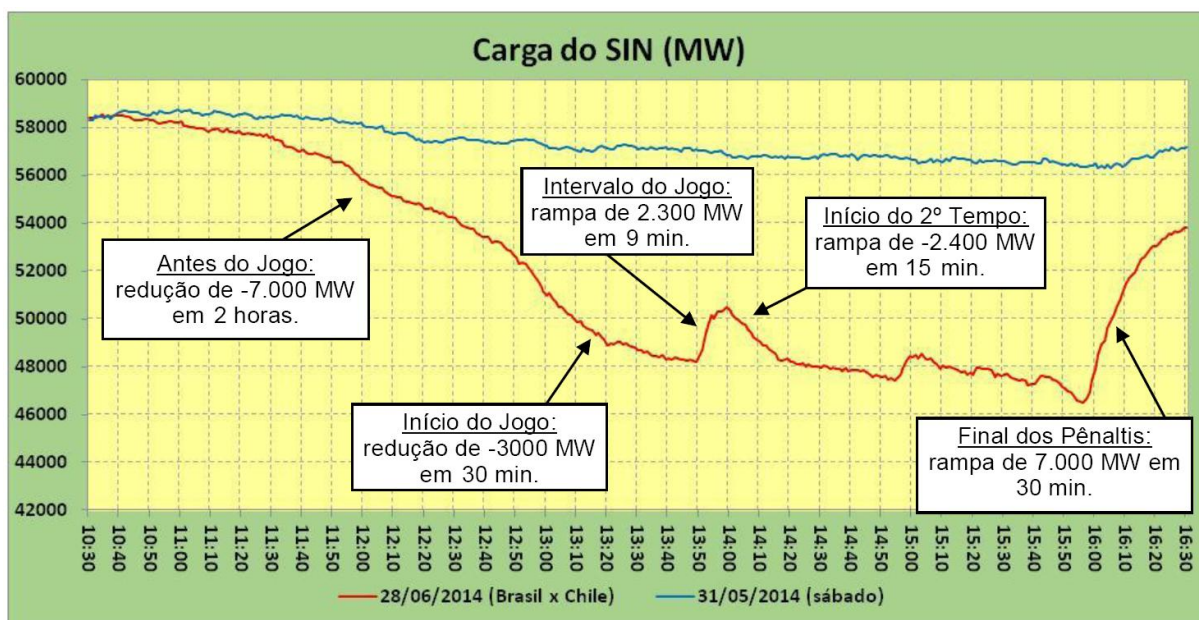


Figura 4.7: Comportamento da Carga no SIN em 28/06/2014
 Fonte: ONS (2014a)

Percebe-se a partir da figura 4.7, um comportamento completamente distinto dos demais jogos, sendo esse comportamento explicado por três motivos principais.

O primeiro refere-se ao dia do jogo, uma vez que o mesmo ocorreu em um sábado, que como característica típica apresenta um consumo global inferior ao dos demais dias da semana (exceto domingo), devido ao fato de diversas empresas e comércios não funcionarem nestes dias. Tal comportamento pode ser verificado quando se comparam as figuras 4.7 e 4.5, por exemplo.

O segundo motivo foi com relação ao horário do jogo, que diferentemente dos jogos anteriores que se iniciaram às 16 ou 17h, no caso do jogo entre Brasil e Chile o jogo teve início logo no início da tarde, às 13h. Como pode-se verificar na figura

4.7, a carga não apresenta neste momento o acréscimo natural da rampa, causada pela entrada da iluminação pública.

O terceiro motivo foi o fato de o jogo contar com um período de prorrogação e posterior cobrança de pênaltis, causando um prolongamento na carga reduzida característica durante jogos da seleção brasileira.

A redução no consumo teve início às 10h30min, apresentando um padrão descendente total 7.460 MW em 02h30min, o que resulta em uma taxa de 49,73 MW/min. Após o início do 1º tempo regular de jogo a curva ainda apresentou a mesma característica apresentada anteriormente, a uma taxa de 56 MW/min.

Durante o intervalo a característica de acréscimo e posterior decréscimo da carga foi verificada, onde no dia 28/06/2014 no início do 2º tempo o volume de carga demandada foi de apenas 100 MW inferior ao verificado no fim do 1º tempo. Vale ressaltar que às 14h55min a carga apresentou leve acréscimo, sendo este proveniente do intervalo entre os tempos regulares e o início do período de prorrogação, assim como entre o intervalo entre as prorrogações (porém neste caso o acréscimo foi de apenas 263 MW).

Durante o período de pênaltis, a carga apresentou nova redução, atingindo o nível mínimo de 46.513 MW às 15h56min.

A Figura 4.8 apresenta o comportamento da carga no submercado sul, onde é possível verificar que o planejamento realizado pelos operadores do sistema previu apenas a prorrogação, não considerando o período de pênaltis (curva marrom).

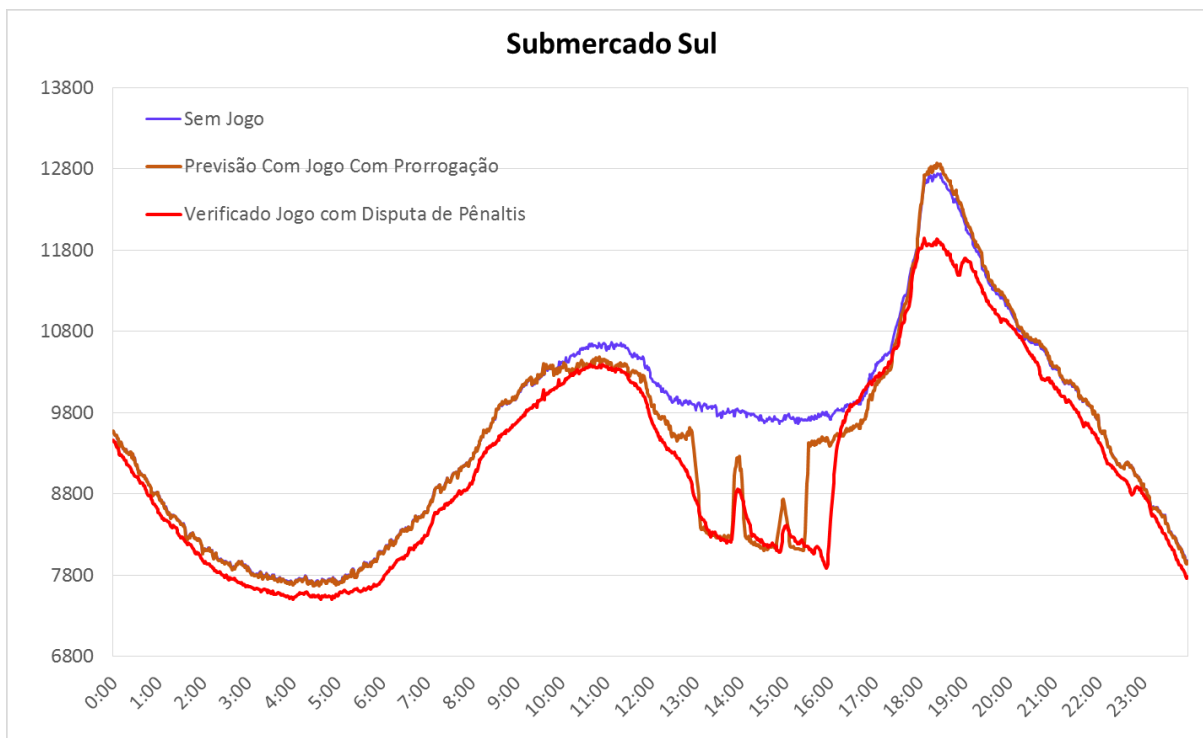


Figura 4.8: Comportamento da Carga no Submercado Sul em 28/06/2014
Fonte: Adaptado de ONS (2014b)

Na figura 4.8 é possível perceber um comportamento muito próximo ao verificado no SIN, uma vez que apresenta acréscimos entre os tempos regulares e a prorrogação, bem como a redução durante os pênaltis.

O mínimo verificado neste dia foi de 7.910 MW, ao mesmo horário do sistema brasileiro. Tal valor equivale a 17% de toda a carga consumida no Brasil neste instante. A elevação de carga no submercado sul durante o intervalo dos períodos regulares foi de 630 MW, e entre o período regular e a prorrogação resultou em 307 MW, onde em ambos os casos tais valores são referenciados aos valores verificados no momento anterior.

Ainda na figura 4.8 percebe-se que no submercado sul a carga não voltou aos patamares projetados, apresentando uma diferença de 933 MW ao projetado para este dia, e 821 MW ao verificado em um dia sem jogo. A carga retornou aos valores próximos aos previstos apenas às 19h30min. Um dos motivos para tal decréscimo na ponta da carga foi o início do jogo entre Colômbia e Uruguai, que teve início às 17h, coincidindo com o término do jogo entre o Brasil e Chile.

4.1.1.5 BRASIL X COLÔMBIA

Após a passagem pela seleção chilena, o Brasil enfrentou a Colômbia durante as quartas de final. Após o ocorrido no jogo anterior, foram realizadas projeções para o caso de partida com pênaltis, como mostrado na figura 4.10.

Vale ressaltar que apesar dessa possibilidade, tal jogo foi definido durante o período regular, não necessitando nem de prorrogação, tampouco pênaltis.

A Figura 4.9 apresenta o comportamento da carga nos momentos prévios do jogo bem como os momentos posteriores ao mesmo no Sistema Interligado Nacional, enquanto a Figura 4.10 apresenta o comportamento do submercado sul.

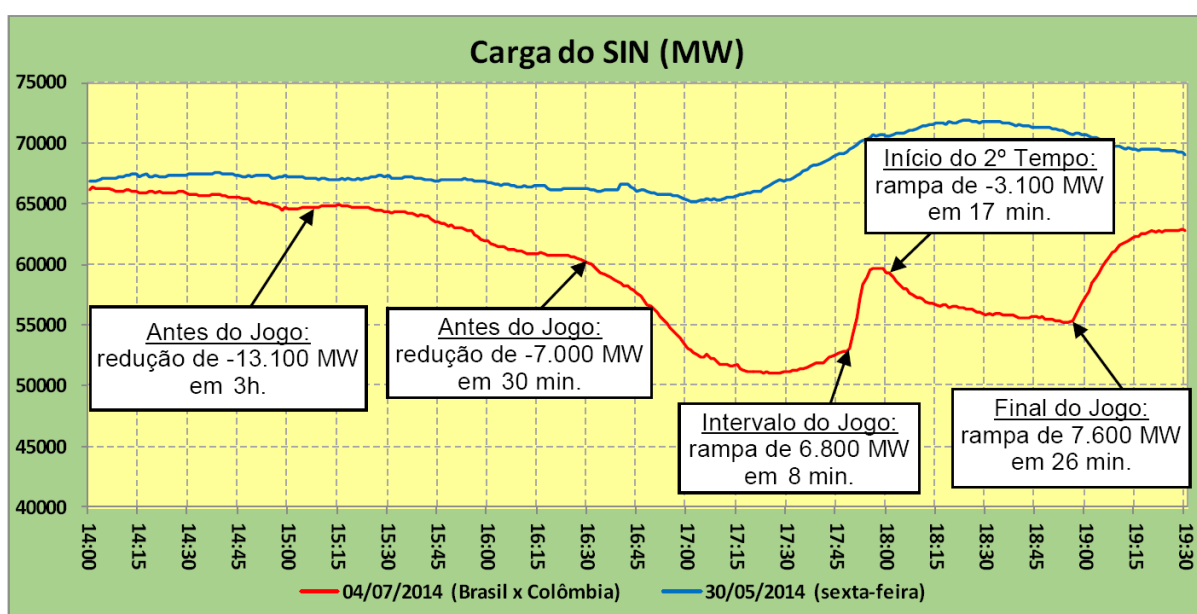


Figura 4.9: Comportamento da Carga no SIN em 04/07/2014
Fonte: ONS (2014a)

Percebe-se a partir da figura 4.9, uma característica semelhante à encontrada no jogo entre Brasil x Camarões, devido ao horário de início do jogo, fazendo com que o período regular da partida coincida com o início do horário de ponta do sistema, causando uma elevação natural na carga demandada. Tal fato ocorre a partir das 17h30min, quando se percebe uma inversão na curva de carga apresentado na figura 4.9.

Nas três horas que antecederam o início da partida, percebeu-se uma redução 12.685 MW, e não os 13.100 MW informados pelo ONS em seu relatório oficial.

Devido a essa diferença, foram realizados novos levantamentos gráficos, de forma a verificar os demais dados disponibilizados nos relatórios oficiais do ONS, onde se verificou apenas o equívoco dos valores iniciais do gráfico.

Ainda na figura 4.9 percebe-se que o decréscimo mais acentuado na carga ocorreu a partir das 16h30min, onde a taxa foi de 233 MW/min, ocasionando uma redução de 7.000 MW em 30 minutos.

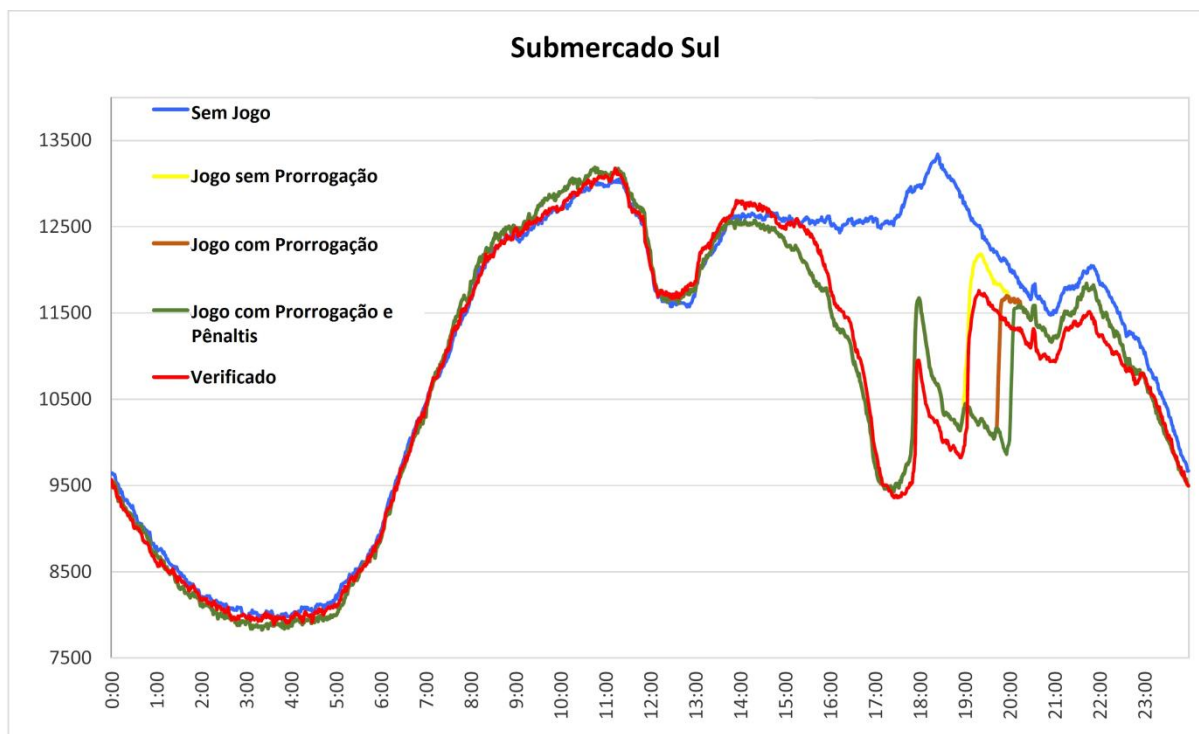


Figura 4.10: Comportamento da Carga no Submercado Sul em 04/07/2014
Fonte: Adaptado de ONS (2014b)

A Figura 4.10 apresenta todos os padrões estabelecidos no planejamento energético para o dia 04/07/2014, visto o deslize de planejamento do jogo anterior (figura 4.8). Percebe-se que para o caso da partida resultar em pênaltis (curva verde), o comportamento esperado seria muito próximo ao verificado no jogo entre Brasil e Chile, apenas adaptando-se ao dia do jogo, que neste caso é uma sexta-feira, bem como o horário do jogo.

Os horários considerados para o planejamento do submercado sul para o dia do jogo entre a seleção brasileira e a colombiana são apresentados na Tabela 4.2 abaixo.

Tabela 4.2: Horários considerados para o planejamento energético de 04/07/2014

HORÁRIO (h)	EVENTO
17h	Início do jogo
17h45min	Fim do tempo regulamentar do 1º tempo de jogo
17h47min	Final do 1º tempo de jogo c/ 2 minutos de acréscimo
18h02min	Início do 2º tempo do jogo
18h45min	Fim do tempo regulamentar do 2º tempo de jogo
18h51min	Final do 2º tempo de jogo c/ 4 minutos de acréscimo
18h56min	Início do 1º tempo da prorrogação
19h11min	Fim do 1º tempo da prorrogação
19h12min	Final do 1º tempo da prorrogação c/ 1 minuto de acréscimo
19h14min	Início do 2º tempo da prorrogação
19h29min	Fim do 2º tempo da prorrogação
19h31min	Final do 2º tempo da prorrogação c/ 2 minutos de acréscimo
19h40min	Início da disputa de pênaltis
20h	Fim do jogo – Final da disputa de pênaltis

Fonte: Adaptado de ONS (2014b)

Como a partida foi decidida durante o tempo regular, o comportamento seguiu o planejamento para tal caso (curva amarela), na sua maior parte de tempo, inclusive ao fim do jogo, quando apresenta a ascendência rápida da curva de carga. Porém, logo após as 19h, a carga se apresentou 443 MW inferior ao planejado e 751 MW se comparado a um dia sem jogo, mantendo esse comportamento até as 23h, quando retornou aos patamares previstos.

Durante a partida, a diferença verificada em dois momentos distintos (sendo um no primeiro e outro no segundo tempo do jogo) comparados a um dia sem jogo, foram de 3.231 MW e 3.068 MW respectivamente.

4.1.1.6 BRASIL X ALEMANHA

Trata-se do jogo da semifinal da Copa do Mundo FIFA 2014, realizado em Belo Horizonte, às 17h do dia 08 de julho de 2014 (terça-feira). A Figura 4.11 apresenta o comportamento da carga no SIN no período das 14 às 19h30min.

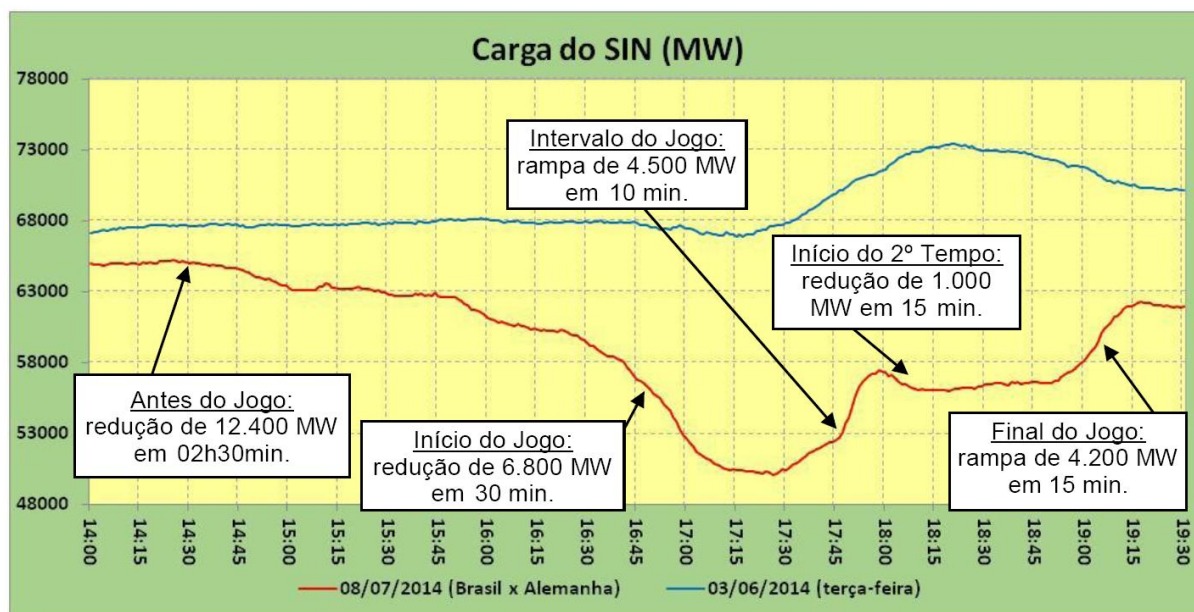


Figura 4.11: Comportamento da Carga no SIN em 08/07/2014
Fonte: ONS (2014a)

Analisando-se a figura 4.11, percebe-se um comportamento completamente atípico na curva de carga verificada no dia 08/07/2014, quando comparado a outros dias de jogos da seleção brasileira na Copa do Mundo que possuíam os mesmos horários de início para os jogos (Brasil x Croácia, Brasil x Camarões, etc.).

Apesar de haver a rampa natural do sistema devido ao início do horário de ponta do mesmo, percebe-se que o segundo tempo do jogo foi marcado por uma redução ínfima quando comparado a outros jogos. O motivo principal que levou a tal situação foi o resultado do jogo ao fim do 1º tempo regular³, o que desmotivou a população brasileira a continuar a assistir o restante do jogo, fazendo inclusive muitas pessoas voltar a suas rotinas corriqueiras em tal período⁴.

Percebe-se que às 14h o consumo no sistema brasileiro já se encontrava 2.170 MW inferior a um dia normal. Já às 17h, horário de início do jogo, a carga

³ O placar entre Brasil e Alemanha ao final do 1º tempo era de 5 (cinco) para a seleção alemã contra 0 (zero) para a seleção brasileira.

⁴ Cabe ressaltar que tal padrão pode ser parcialmente observado no jogo entre Brasil x Camarões, onde ao fim do 1º tempo o Brasil vencia por 2 (dois) a 0 (zero) a seleção camaronesa, fazendo muitas pessoas aceitarem tal resultado ou mesmo uma diferença de gols superior, bem como na não esperança de uma virada por parte do time de Camarões.

encontrava-se 14.662 MW inferior ao verificado no dia 09/06/2014 (data utilizada como base para o planejamento), e 12.113 MW inferior ao verificado às 14h.

Quando se comparam os valores obtidos anteriormente com os disponibilizados no relatório oficial do ONS, novamente verifica-se uma inexatidão por parte do ONS quanto aos valores disponibilizados em seu relatório oficial, onde neste é realizada a seguinte afirmação:

“Antes do início do jogo, a partir das 14h30min, observou-se uma redução de carga no SIN de 12.400 MW em 02h30min. A redução de carga durante os 30 minutos que antecederam o início do jogo foi de 6.800 MW. Nos momentos que antecederam o jogo, a carga encontrava-se cerca de 15.000 MW abaixo da curva de um dia típico (terça-feira).” (ONS, 2014).

A inexatidão refere-se ao valor de decréscimo das horas iniciais, onde o valor correto seria de 5.410 MW e não os 12.400 MW apresentados pelo ONS.

O ponto de consumo mínimo foi atingido às 17h26min, quando atingiu 50.090 MW, o que equivale a aproximadamente 74% do consumo de um dia típico para o mesmo horário. Vale ressaltar que após esse horário, a carga iniciou uma rampa ascendente, indicando o início do período de ponta do sistema.

Como já informado anteriormente, a redução esperada para o segundo tempo não acompanhou o previsto (isso poderá ser verificado mais claramente na figura 4.12), necessitando dos operadores do sistema respostas rápido a fim de garantir o fornecimento de energia sem impactos significativos, uma vez que a redução foi de apenas 1.050 MW nos primeiros 15 minutos de jogo, mantendo-se aproximadamente constante até o fim do mesmo.

Mesmo após a rampa de 4.200 MW ao fim do jogo, a carga do sistema elétrico se manteve 8.170 MW inferior a uma terça-feira sem jogos.

A Figura 4.12 apresenta o comportamento da demanda no submercado sul para o dia do jogo entre Brasil e Alemanha.

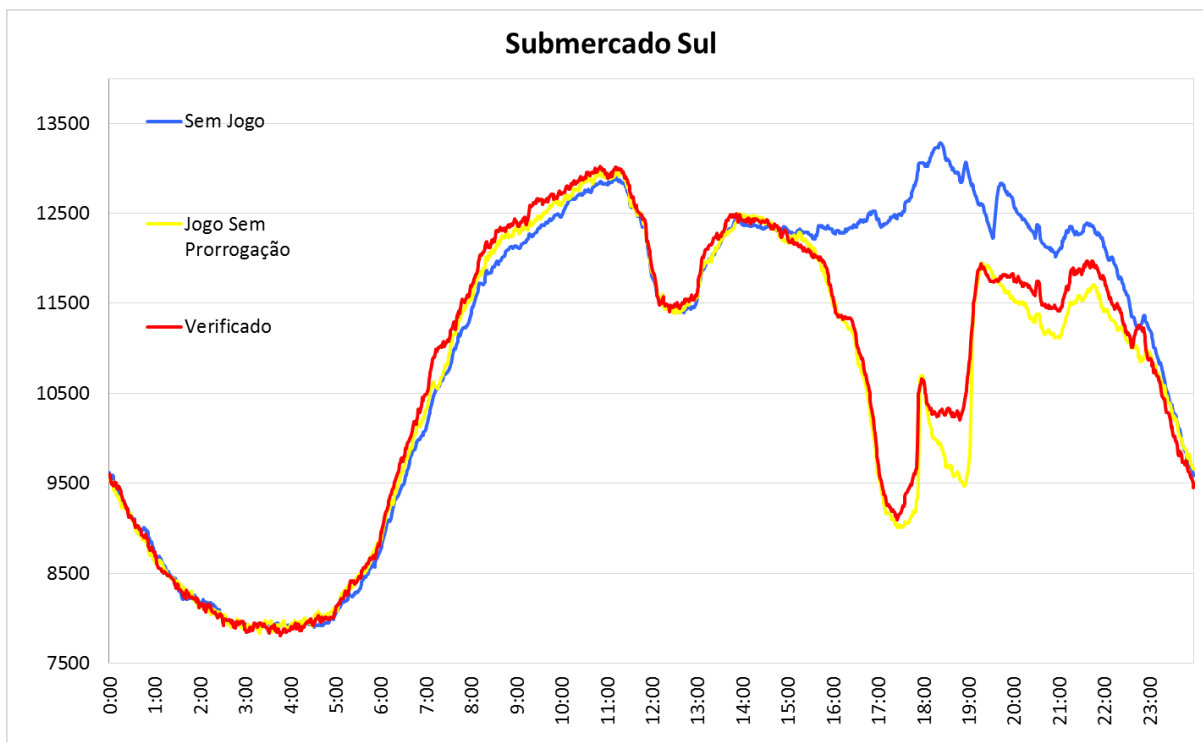


Figura 4.12: Comportamento da Carga no Submercado Sul em 08/07/2014
Fonte: Adaptado de ONS (2014b)

Percebe-se a partir da figura 4.12 que o comportamento da carga se manteve dentro do esperado até as 15 horas, onde se iniciou o processo de decréscimo de carga devido ao jogo da seleção brasileira. Até o início do jogo, a redução foi de 2.560 MW, permanecendo em queda até as 17h25min, quando atingiu 9.130 MW, o que corresponde a aproximadamente 18,2% do verificado no sistema brasileiro no mesmo instante.

A redução máxima durante o 2º tempo regular de jogo foi de 410 MW, atingindo o nível de 10.227 MW, o que corresponde a 2.640 MW inferior ao consumo de um dia sem jogo (curva azul). Cabe ressaltar que o consumo observado no 2º tempo atingiu uma diferença máxima entre o verificado (curva vermelha) e o planejado (curva amarela) de 665 MW.

Ao final do jogo, o consumo permaneceu levemente superior ao planejado até próximo às 23h, quando a mesma passou a ser inferior ao previsto, porém não apresentando preocupações excessivas por parte do ONS e concessionários de energia.

4.1.1.7 BRASIL X HOLANDA

Jogo de disputa do 3º lugar da competição, após derrota do Brasil para a Alemanha em 08/07/2014. A figura 4.13 apresenta a curva de carga no SIN, enquanto a figura 4.14 apresenta o consumo no submercado sul.

Inicialmente, percebe-se que, tanto a Figura 4.13 quanto a Figura 4.14 apresentam um comportamento completamente atípico para dias de jogos da seleção brasileira, uma vez que não apresenta a previsão comum para tais dias, que se referem ao decréscimo significativo durante o 1º e 2º tempo regulares e a ascensão durante o intervalo.

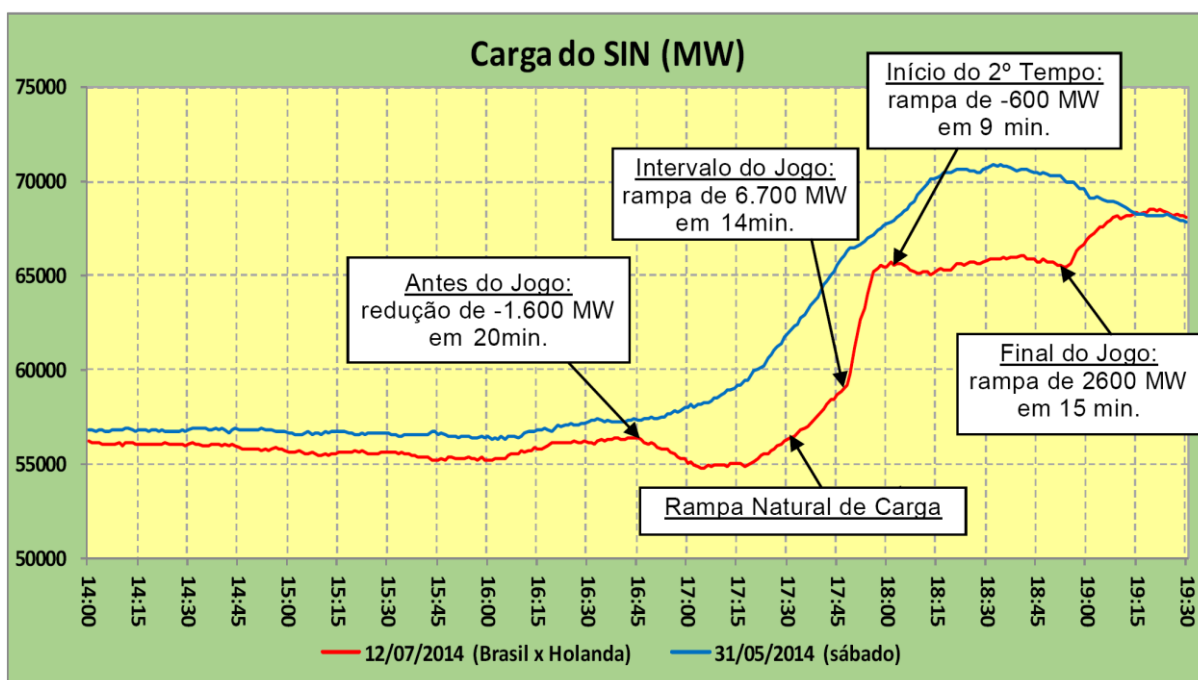


Figura 4.13: Comportamento da Carga no SIN em 12/07/2014
Fonte: ONS (2014a)

Diferentemente do ocorrido nos demais jogos da seleção durante a Copa do Mundo FIFA 2014, onde apesar de ser um sábado, o início da redução da carga demandada se deu apenas nos 30 minutos anteriores ao início da partida, sendo que nos demais jogos esse intervalo foi em média de 2 horas. Antes da redução a carga apresentava-se aproximadamente 800 MW inferior ao verificado no dia 31/05/2014 (data base).

Como o ocorrido na maioria dos jogos envolvendo a seleção brasileira, o horário de ponta do sistema teve início ao longo do tempo regulamentar do jogo,

representando dessa forma, um acréscimo natural na curva da carga demandada no sistema elétrico brasileiro.

Durante o primeiro tempo regular, a carga se apresentou inferior em 4.510 MW quando comparado ao verificado em 31/05/2014. Já o segundo tempo foi marcado por uma diferença de 5.055 MW quando comparado à data apresentada anteriormente.

A redução para o início do 2º tempo regular foi inferior ao verificado no jogo entre Brasil e Alemanha, nas semifinais da Copa do Mundo FIFA 2014, apresentando uma redução de apenas 600 MW em 9 minutos, mantendo-se praticamente constante após tal período. Após o fim do jogo, ocorreu uma rampa de 2.600 MW durante o período de 15 minutos. Após esse período (por volta das 19h15min), a carga voltou aos patamares verificados em dias anteriores.

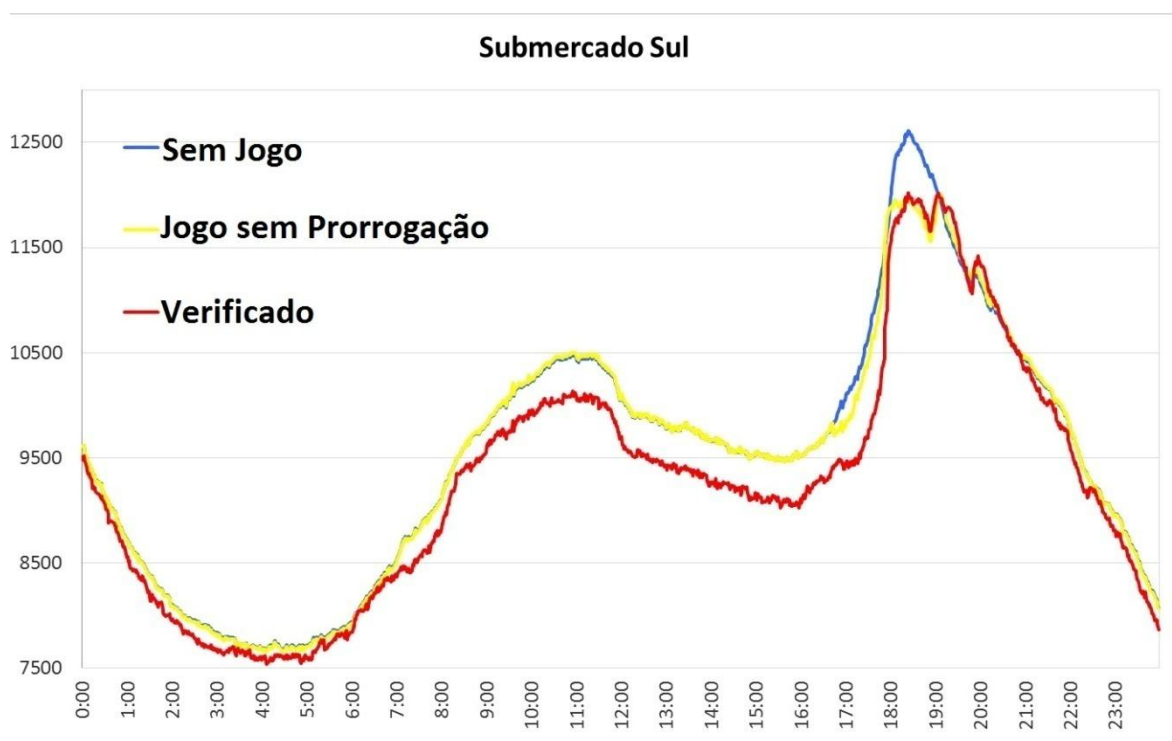


Figura 4.14: Comportamento da Carga no Submercado Sul em 12/07/2014
 Fonte: Adaptado de ONS (2014b)

O comportamento da carga no submercado sul possui algumas peculiaridades quando comparado ao obtido no SIN. A primeira refere-se ao fato da carga verificada ser inferior ao projetado já a partir das 7h, tornando-se mais significativa às 08h20min, mantendo esse padrão até as 18h, quando volta a se manter nos padrões previamente estabelecidos.

A segunda foi a presença de dois vales as 19 e 20h, não verificados no SIN. Cabe ressaltar que tais vales já haviam sido previsto durante o planejamento do sistema para o dia do jogo de disputa de 3º lugar da Copa do Mundo 2014.

O valor encontrado às 18h30min, horário onde ocorreu o consumo máximo de energia no dia 12 de junho de 2014 foi de 11.990 MW, valor este 610 MW inferior ao verificado em um dia sem jogo. Vale lembrar que tal diferença já era esperada na curva de carga planejada para o dia (curva amarela), como pode ser visualizado na figura 4.14.

4.1.2 JOGOS NA CIDADE DE CURITIBA

Durante a Copa do Mundo FIFA 2014, foram realizadas quatro partidas no Estádio Arena da Baixada, em Curitiba. Vale ressaltar que todos os jogos realizados em Curitiba foram referentes à fase de grupos. A relação dos jogos, datas e horários de tais jogos são apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Jogos da Copa do Mundo FIFA 2014 realizados em Curitiba/PR

SELEÇÕES	DATA	HORÁRIO
Irã x Nigéria	16/06/2014	16 h
Honduras x Equador	20/06/2014	19h
Austrália x Espanha	23/06/2014	13h
Argélia x Rússia	26/06/2014	17h

Fonte: Elaboração Própria

As Figuras 4.15 a 4.18 apresentam as curvas de carga da região metropolitana de Curitiba, para os dias de jogos da Copa do Mundo FIFA 2014 realizados no estádio Arena da Baixada.

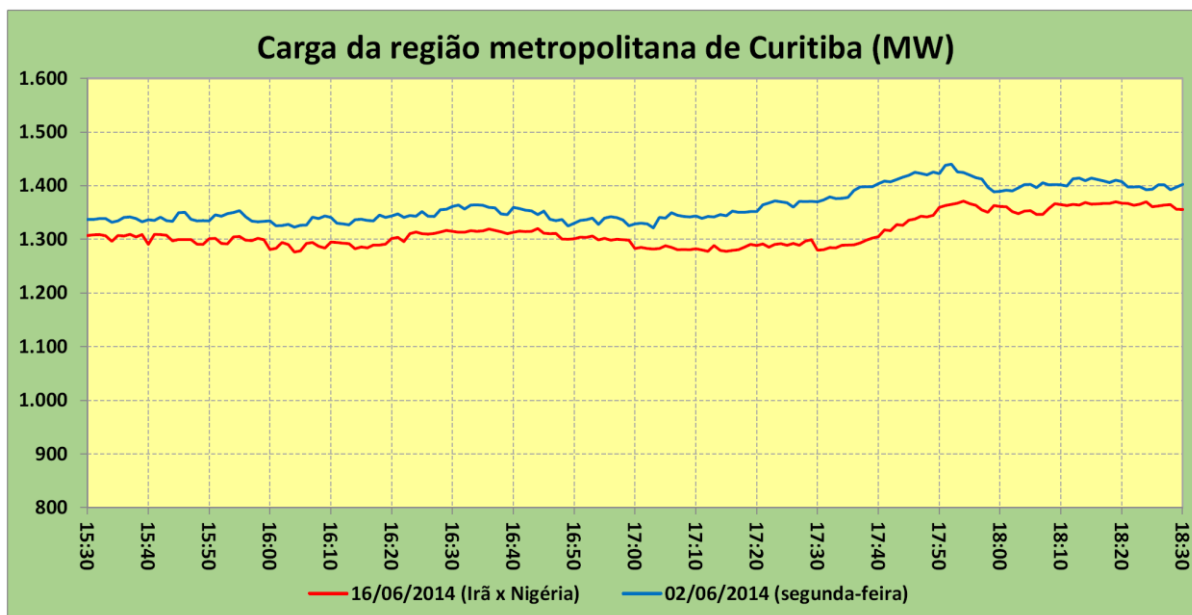


Figura 4.15: Comportamento da Carga na região metropolitana de Curitiba em 16/06/2014
Fonte: ONS (2014a)

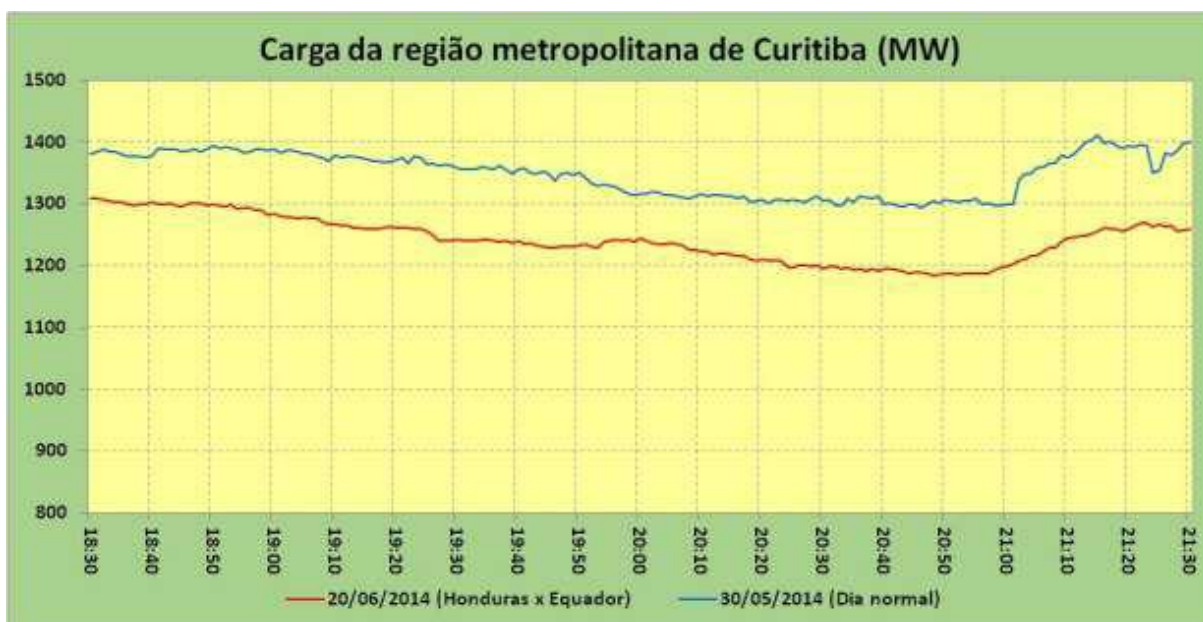


Figura 4.16: Comportamento da Carga na região metropolitana de Curitiba em 20/06/2014
Fonte: ONS (2014a)

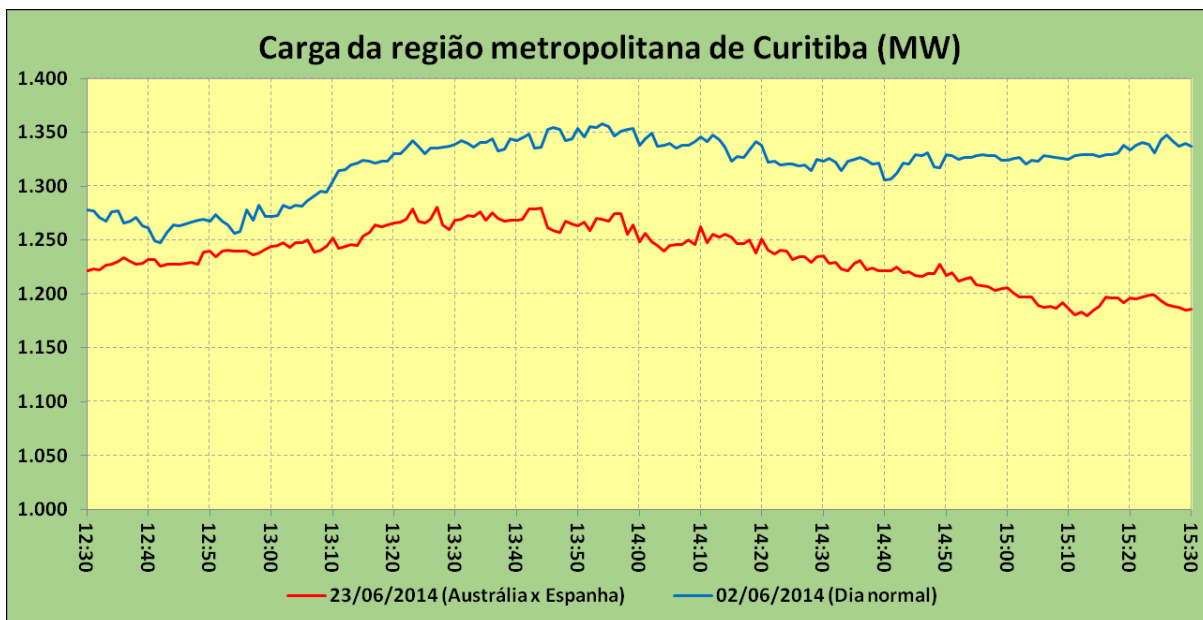


Figura 4.17: Comportamento da Carga na região metropolitana de Curitiba em 23/06/2014
Fonte: ONS (2014a)

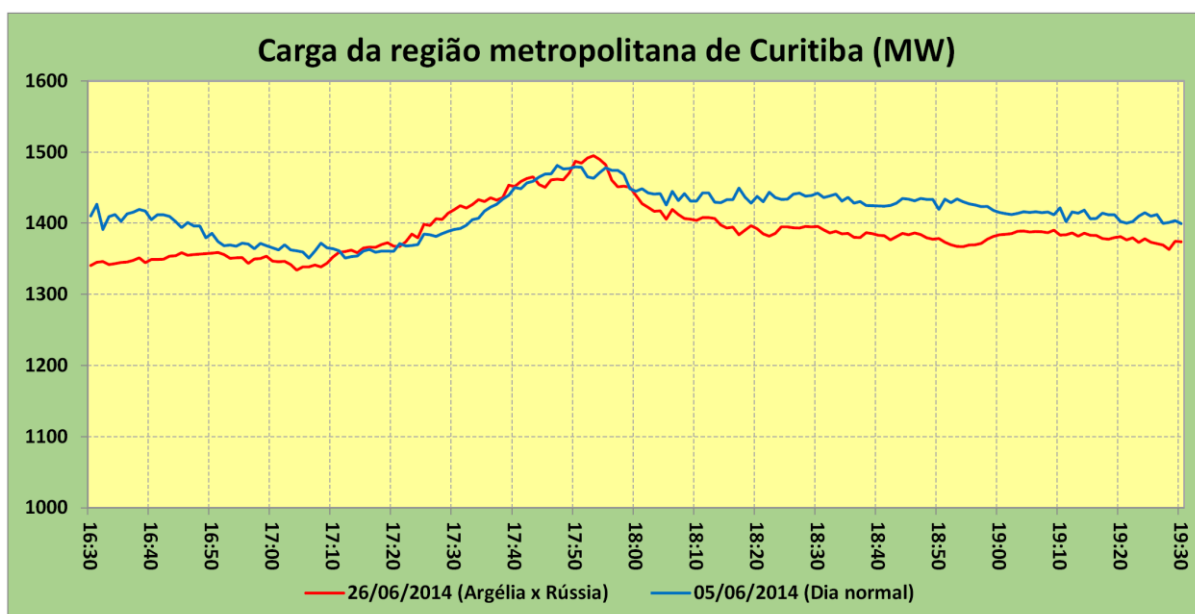


Figura 4.18: Comportamento da Carga na região metropolitana de Curitiba em 26/06/2014
Fonte: ONS (2014a)

Verifica-se a partir das figuras 4.15 a 4.18 que o comportamento da carga na cidade de Curitiba e região metropolitana não apresentaram variação significativa quando comparado aos dias considerados normais pelo ONS (tais dias são os utilizados como bases para o planejamento do ONS e no caso do Paraná, a COPEL).

Vale lembrar que a carga se manteve abaixo do esperado para os dias de jogos na capital paranaense, com exceção do dia 26 de junho de 2014 (Argélia x Rússia), quando em alguns momentos ocorreu uma elevação de carga, porém não considerada significativa por parte da ONS.

Para o primeiro dia de jogos da Copa do Mundo FIFA 2014 em Curitiba, a carga apresentou-se em média 50 MW do que o verificado em 02 de junho de 2014. Já para o segundo jogo (Honduras x Equador), a diferença média encontrada foi de 100 MW. Em ambos os casos essa redução média não foi ocasionada por fatores não relacionados ao jogo.

Já a figura 4.17, que apresenta a curva de carga do dia 23/06/2014, percebe-se duas situações distintas. A primeira é relacionada à diferença de comportamento no período entre 12h30min e 13h30min, que em condições normais apresenta uma redução no consumo, devido ao período de almoço, não verificado no dia do jogo entre Austrália e Espanha, devido à mudança no comportamento das empresas para este dia em especial, uma vez que neste mesmo dia ocorreria a partida entre Brasil e Camarões (às 17h).

A segunda possui relação direta com o fato do jogo Brasil x Camarões neste dia, pois se percebe uma rampa descendente a partir das 14h até as 15h30min, indicando o comportamento considerado padrão no caso de jogos da seleção brasileira durante a Copa do Mundo FIFA 2014⁵.

O último jogo da Copa do Mundo do ano de 2014 realizado em Curitiba foi entre as seleções da Argélia e Rússia, no dia 26 de junho de 2014. Neste dia, o ONS informa que não ocorreram variações significativas no comportamento da carga. Porém, a partir da figura 4.18 percebe-se um avanço de aproximadamente 15 minutos no início da rampa natural do sistema, atingindo seu pico às 17h53min, quando atingiu o nível de 1490 MW, onde a partir deste momento, iniciou-se uma redução, atingindo o nível de 1.400 MW às 18h14min.

⁵ Devido ao jogo do Brasil x Camarões, muitas empresas e instituições alteraram o período de almoço de forma a manter um período único de trabalho até as 14h, com posterior liberação dos funcionários e colaboradores para apreciação do jogo da seleção às 17h.

A partir das figuras apresentadas anteriormente, percebe-se que, apesar de dias e horários distintos analisados, o comportamento da carga na cidade de Curitiba e região metropolitana possuem um patamar típico de carga, que varia entre 1.300 e 1.400 MW na maior parte do tempo. Tal valor corresponde a aproximadamente 13% do consumo médio do submercado sul.

4.2 SIMULAÇÕES E RESULTADOS DOS ÍNDICES DE CONFIABILIDADE

O próximo passo das análises refere-se à obtenção dos índices de confiabilidade dos subsistemas da COPEL para dois períodos distintos (antes e depois da Copa do Mundo FIFA 2014) através do *software* NH2.

Para tanto, faz-se necessário primeiramente a análise da carga em cada barra, além do fluxo de potência das linhas de distribuição consideradas no presente estudo, sendo estas as referentes às que sofreram intervenções provenientes do evento. Tal análise é efetuada através do *software* ANAREDE.

Os diagramas elétricos utilizados no ANAREDE bem como no NH2 são apresentados nas figuras 4.19 e 4.20 a seguir, sendo a primeira referente ao mês de março de 2013 e a segunda ao mês de fevereiro do ano de 2015.

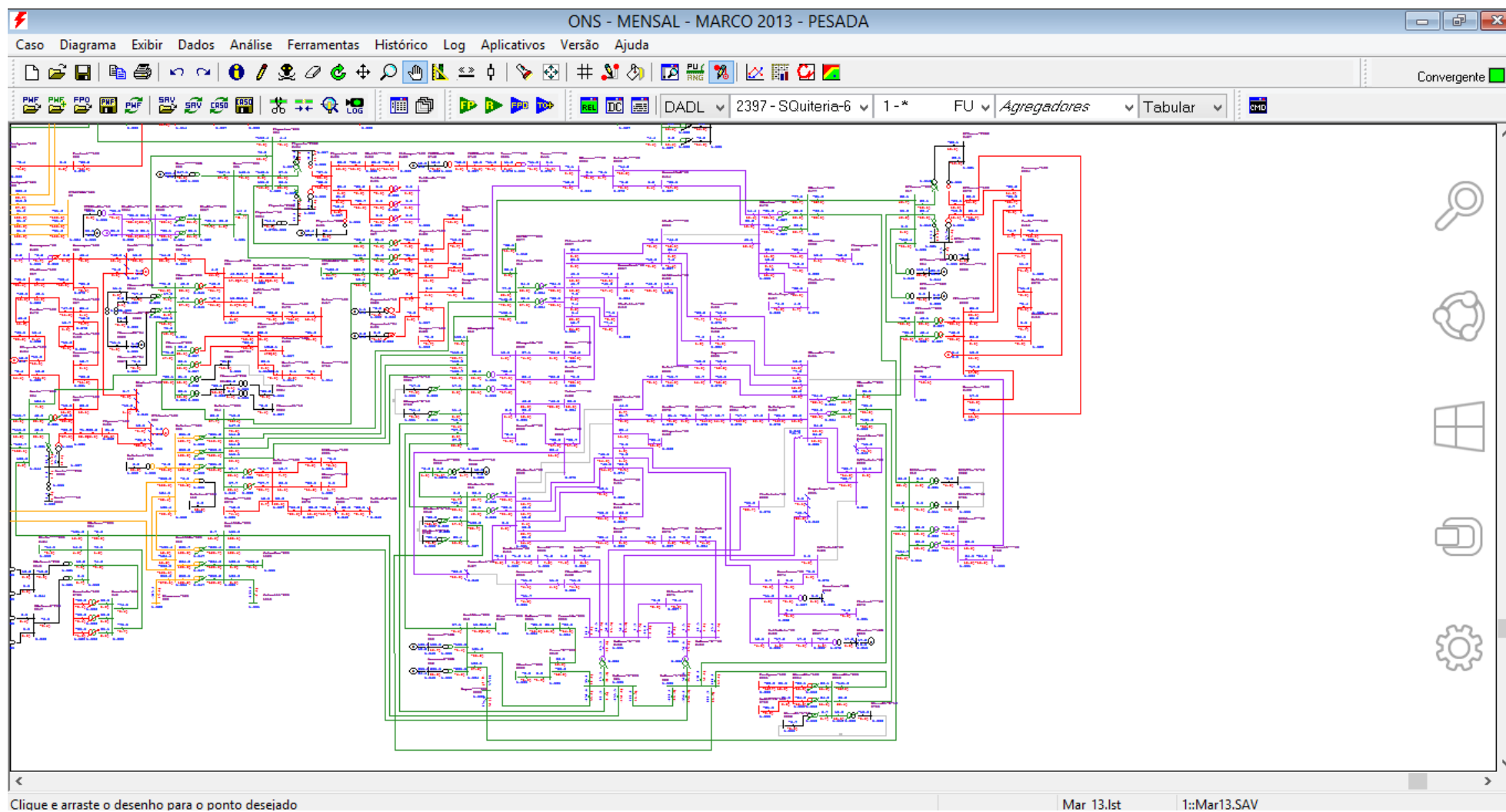


Figura 4.19: Detalhe do diagrama elétrico da COPEL no mês de março de 2013
Fonte: Elaboração Própria

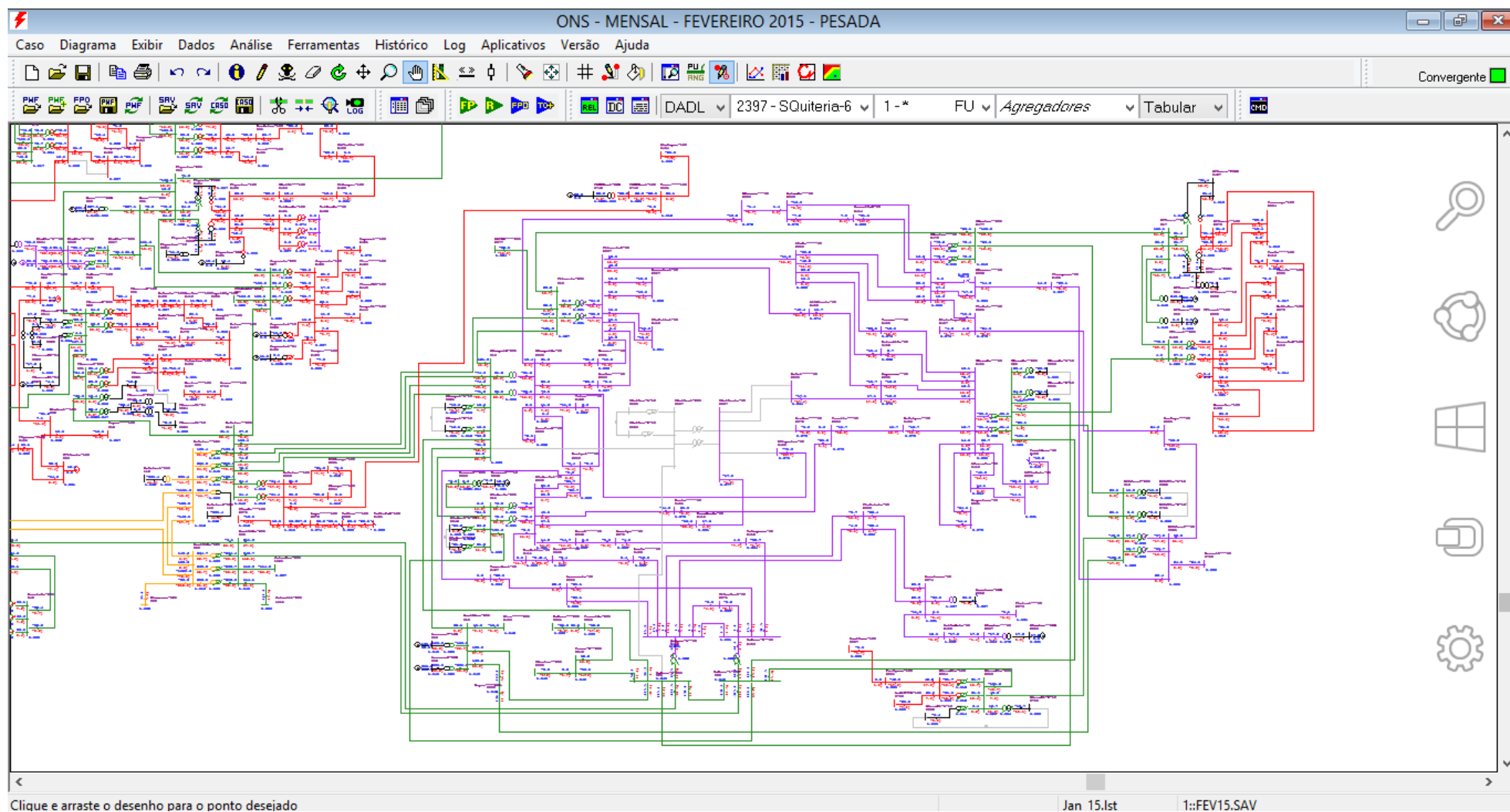


Figura 4.20: Detalhe do diagrama elétrico da COPEL no mês de fevereiro de 2015
Fonte: Elaboração Própria

Verifica-se a partir dos diagramas apresentados nas figuras anteriores a mudança na configuração do sistema elétrico da COPEL, em especial na região de entorno do estádio Arena da Baixada e redes de distribuição que servem de conexão dos alimentadores do estádio ao sistema elétrico de rede básica.

A partir dos resultados do fluxo de potência, onde é possível a obtenção de informações associadas às linhas, barras e demais componentes do sistema elétrico, transportam-se os dados ao NH2, onde são aplicadas as taxas de reparo, tempo médio de reparo, entre outros parâmetros estocásticos necessários para posterior obtenção dos índices de confiabilidade. Todos os coeficientes necessários ao cálculo dos índices seguiram os preceitos adotados pela EPE e ONS nos seus estudos de confiabilidade da rede básica de transmissão. Dentre os documentos podem-se citar os “Estudos Associados ao Plano Decenal de Energia – Análise dos Índices de Confiabilidade do SIN” e “Indicadores de Desempenho Probabilístico de Componentes de Geração e Transmissão do SIN”, incluindo seus anexos.

Visando a comparação dos índices existentes antes e depois da Copa do Mundo FIFA 2014 na cidade de Curitiba, bem como a análise indireta no que tange o fornecimento de energia elétrica durante a realização dos jogos, foram considerados cenários distintos de análise, sendo estes apresentados abaixo.

4.2.1 CENÁRIOS CONSIDERADOS

Para o presente estudo, foram considerados 03 cenários distintos, sendo estes apresentados na tabela 4.4.

Tabela 4.4: Cenários para análise de confiabilidade

CENÁRIO	PERÍODO
01	Março/2013
02	Fevereiro/2015
03	Copa do Mundo FIFA 2014

Fonte: Elaboração Própria

Onde os cenários 01 e 02 são obtidos de forma direta no software NH2, enquanto o cenário 03 é obtido de forma indireta, sendo este realizado através de interpolação dos dados para o período da Copa do Mundo em 2014.

4.2.2 CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS CENÁRIOS

Visto a grande variabilidade de fatores que poderiam influenciar os resultados obtidos (situação de carregamento do sistema, dia da semana, carga do sistema, problemas em alguma barra ou linha de distribuição, etc.) se fazem necessárias considerações acerca dos cenários considerados, visando à consistência e confiabilidade dos resultados, sendo estes apresentados na sequência.

4.2.2.1 SITUAÇÃO DE CARREGAMENTO DO SISTEMA

Existem diversas situações de carregamento do sistema elétrico brasileiro, porém de forma a facilitar os estudos não só das concessionárias de energia como o Operador Nacional do Sistema (SIN), subdividem-se em quatro grandes situações: pesada, média, leve e mínima.

No presente estudo foi adotado o caso de carregamento **pesado**, por se tratar da pior situação para o sistema elétrico, uma vez que os equipamentos e componentes operam próximo a sua capacidade nominal, quando não ultrapassam tais valores, caracterizando-se assim a violação dos parâmetros nominais.

Para os dias de jogo, considerou-se também carga pesada para fins de construir uma base de comparação, uma vez que o carregamento nos jogos foi em média inferior ao carregamento normal.

4.2.2.2 DIA DA SEMANA

Quanto ao dia da semana, as análises são divididas em geral, sábado e domingo, sendo os dois últimos divididos em períodos do dia (dia e noite).

Neste foi considerado apenas o caso **'geral'**, posto que as maiores taxas de consumo sejam verificadas durante a semana (segunda a sexta-feira), acarretando assim em indicadores de confiabilidade inferiores quando comparados aos obtidos em um sábado ou domingo, que por características históricas apresentam comportamentos distintos de consumo quando comparados aos demais dias da semana.

4.2.2.3 CARGA DO SISTEMA ELÉTRICO

No período entre os dois cenários avaliados (2013 e 2015) ocorreu o aumento natural da carga demandada, seja pelo aquecimento da economia, seja por fatores internos ou externos do país.

Dessa forma, tal acréscimo deve ser levado em consideração nas análises, de forma que os resultados obtidos sejam comparados diretamente, fazendo-se assim necessária sua análise detalhada por período.

4.2.2.4 PERÍODO DO ANO

Juntamente ao aspecto anterior, outra variável faz-se de extrema importância para os resultados. Trata-se da **estação do ano**. Ela influencia diretamente o comportamento da população, em especial da região sul e sudeste do país devido à presença do horário de verão, que causa uma postergação do retorno às residências, visto o período maior de presença do sol.

Por este motivo foram utilizados os meses de fevereiro e março, que por se tratarem de meses subsequentes, apresentam comportamentos semelhantes entre si.

4.2.2.5 OPERAÇÃO DE LINHAS OU EQUIPAMENTOS DO SISTEMA

Por se tratar de um sistema físico, o sistema elétrico brasileiro como um todo apresenta a probabilidade de falha em um determinado equipamento, componente ou área. Tal falha pode ser ocasionada por motivos naturais (chuvas, ventanias, etc.) ou não (manobras indevidas, fadiga, obsolescência, etc.).

Para o cenário 02 (fevereiro de 2015) tal situação está presente, pois a SED Santa Quitéria se encontra parcialmente desativada, devido ao incêndio⁶ em seu setor de 230 kV. Tal questão pode ser verificada a partir da Figura 4.21, que apresenta a situação das linhas conectadas ao barramento Santa Quitéria 69 kV (código 2397), bem como na figura 4.22, que mostra um detalhe do diagrama unifilar

⁶ Incêndio ocorrido em 18 de novembro de 2014 no período noturno, no setor de 230 kV isolado a SF6 (tecnologia GIS), ocasionando o desligamento de aproximadamente 80 mil consumidores, nos bairros da região e central.

do sistema elétrico da COPEL, obtido a partir do *software* ANAREDE, onde é possível observar as linhas de distribuição que se encontram desativas (em cinza).

Pode-se verificar que o relatório da subestação Santa Quitéria 69 kV não apresenta as linhas que realizam a conexão ao barramento de 230 kV da subestação citada, uma vez que a mesma se encontrada desconectada do sistema elétrico, diferentemente das demais linhas, que se encontravam apenas desligadas por motivos de segurança operacional do sistema elétrico da cidade de Curitiba.

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA - PROGRAMA DE ANALISE DE REDES - V10.00.02

PAG. 1

ONS - MENSAL - FEVEREIRO 2015 - PESADA

BARRA		ESTADO OPERATIVO			BARRA	RESIST	REATAN	SUSCEP	T A P			ANG	BARRA	(MVA)			IDENTIFICACAO		
DE	PARA	NC	CIRC.	"DE"	"PARA"	PROP.	(%)	(%)	(Mvar)	ATUAL	MIN	MAX	DEFAS	CONTR.	NORMAL	EMERG.	EQUIP.	DA BARRA	PARA BARRA
2360	2397	1	Deslig	Ligado	Ligado	2360	0.63	3.04	0.076						135.0	135.0	135.0	Batel-----69	SQuiteria-69
2360	2397	2	Deslig	Ligado	Ligado	2360	1.16	5.75	0.137						144.0	144.0	144.0	Batel-----69	SQuiteria-69
2372	2397	1	Deslig	Ligado	Ligado	2372	0.59	3.00	0.068						117.0	117.0	117.0	Gerdau-----69	SQuiteria-69
2397	2415	1	Ligado	Ligado	Ligado	2397	0.84	4.04	0.101						153.0	153.0	153.0	SQuiteria-69	NovoMundo-69
2397	9400	1	Deslig	Ligado	Ligado	2397	0.58	2.91	0.083						153.0	153.0	153.0	SQuiteria-69	CSiqueira-69

Figura 4.21: Relatório de dados de circuitos CA do sistema

Fonte: Elaboração Própria

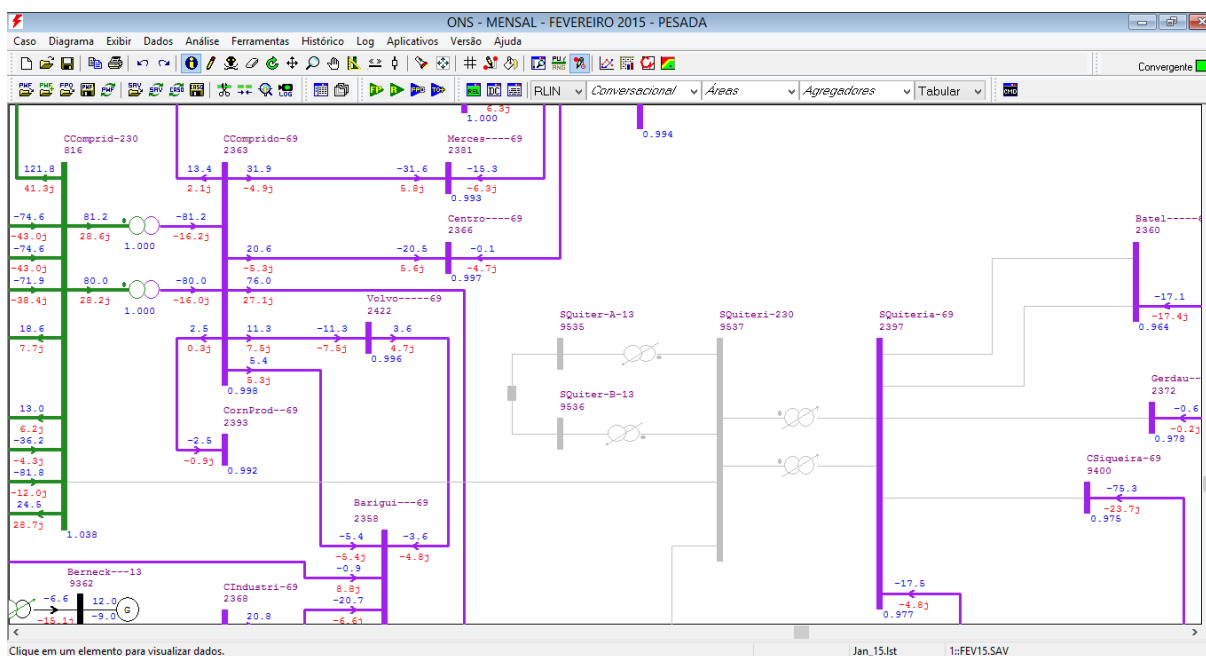


Figura 4.22: Detalhe do diagrama unifilar mostrando a SED Santa Quitéria
Fonte: Elaboração Própria

4.2.3 RESULTADOS OBTIDOS

A partir das considerações anteriores, os índices de confiabilidade obtidos a partir das simulações realizadas são apresentados a seguir, estando os mesmos divididos por cenário estudado, de forma a facilitar a compreensão e posterior comparação.

Cabe ressaltar que os resultados a seguir referem-se as 18 obras realizadas para a Copa do Mundo FIFA 2014 elencadas no Capítulo 2.

Para o cenário 01 (março de 2013) os resultados obtidos são apresentados na tabela 4.5 abaixo.

Tabela 4.5: Índices de confiabilidade do cenário 01 (continua)

CENÁRIO 01 – Março/2013	
ÍNDICE	RESULTADO
LOLP	0,9812%
LOLE	85,95312 h/ano
LOLF	1,5302 occ./ano
LOLD	0,64122 h

Tabela 4.5: Índices de confiabilidade do cenário 01 (continuação)

CENÁRIO 01 – Março/2013	
ÍNDICE	RESULTADO
EPNS	6,9748 MW
EENS	61.099,248 MWh/ano
LOLC	R\$ 213.847.368,00
Severidade	47,03 minutos sistema (GRAU 2)

Fonte: Elaboração Própria

Já o cenário 02 (Fevereiro de 2015) apresenta os seguintes resultados:

Tabela 4.6: Índices de confiabilidade do cenário 02

CENÁRIO 02 – Fevereiro/2015	
ÍNDICE	RESULTADO
LOLP	0,7348%
LOLE	64,368 h/ano
LOLF	1,494 occ./ano
LOLD	0,491834 h
EPNS	7,5465 MW
EENS	66.107,34 MWh/ano
LOLC	R\$ 231.375.690,00
Severidade	47,43 minutos sistema (GRAU 2)

Fonte: Elaboração Própria

A partir das tabelas 4.5 e 4.6 pode-se verificar uma melhora geral nos índices de confiabilidade das redes estudadas, apesar do valor de EPNS e seus subsequentes, que apresentaram um acréscimo para o ano de 2015, quando comparados ao ano de 2013. Dentre os motivos para tal resultado pode-se citar o aumento na carga demandada do sistema.

No que tange o índice LOLE (Loss of Load Expectation), deve-se ressaltar que, apesar de seu cálculo ser referenciado ao período anual, o mesmo reflete a situação do sistema elétrico para o mês estudado, no caso os meses de março de 2013 e fevereiro de 2015.

Ressalta-se como aspecto de extrema importância é o fato de ter sido estudado a situação de carga pesada, que representa o pior caso de carregamento do sistema elétrico, acarretando assim nos índices mais críticos para o mesmo.

Para o cálculo da severidade do sistema, foram adotados os valores máximos de demanda obtidos a partir dos Boletins de Carga Mensal, publicação do Operador Nacional do Sistema (SIN) que resume os resultados da operação para os referidos meses de análise. Tais valores são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 4.7: Ponta de carga do Sistema (PS)

CENÁRIO	Ponta de Carga (PS)
01	77.939,00 MW
02	83.625,00 MW
03	74.330,00 MW

Fonte: Elaboração Própria

O resultado da severidade do sistema para ambos os casos pode ser considerado o balizador de referência para diagnose do risco preditivo probabilístico do SIN. Pela sua classificação internacional de valoração, em ambos os casos analisados ele representa uma situação limítrofe, caracterizando uma condição operativa de risco médio.

Já o cenário 03, referente ao período da Copa do Mundo FIFA 2014 foi obtido a partir da interpolação dos dados e resultados obtidos para os cenários anteriores, bem como dados disponibilizados pelo ONS no que tange a demanda do sistema para o período.

Porém, visto a importância do torneio, em especial no que dizia respeito ao cenário internacional, diversas ações foram adotadas durante o período dos jogos, tanto de forma local (cidade) quanto global (SIN).

A Nota Técnica NT - 0084/2014 do ONS define quais as diretrizes para a operação do SIN durante a Copa do Mundo FIFA 2014. Neste documento são apresentados um conjunto de ações a serem realizadas na operação do SIN e atendimento às cidades sede, objetivando garantir o suprimento de energia com padrões diferenciados de segurança durante a realização do evento. Tais ações são

semelhantes às adotadas durante as eleições (em todos os níveis), carnaval e natal, sendo estes casos previstos na resolução nº 01/2005 do CMSE.

O documento do ONS ainda faz uma pequena apresentação das principais conclusões para tal atendimento:

“Quanto ao atendimento às cargas das cidades-sede pelos respectivos sistemas de transmissão, considerando padrões de segurança diferenciados (critério N-2), as mesmas serão em sua maior parte atendidas mediante implementação de medidas operativas efetuadas através de despacho térmico, restrição energética, transferência de carga e utilização de sistemas especiais de proteção (SEP) que efetuam corte de carga seletivo.” (ONS, 2014).

Dentre as diretrizes gerais, adotadas pelo ONS e concessionárias de energia pode-se citar: programação de intercâmbios de energia entre os subsistemas, minimização de abertura de circuitos, disponibilização de máquinas nas usinas, monitoramento 244 horas da meteorologia, entre outras.

Já para o caso específico dos jogos a serem realizados na cidade de Curitiba, foram tomadas outras ações, tais como: limitação do recebimento de energia através do subsistema sul, no caso de perda da linha LT 500 kV Ibiúna-Bateias, restrição à geração máxima da UTE Araucária, geração mínima na UHE Governador Parigot de Souza e UTE Araucária de forma a evitar o corte de carga e a ocorrência de carregamentos inadmissíveis na região metropolitana de Curitiba e entorno, entre outras.

Devido aos fatos elencados anteriormente, bem como a não ocorrência de corte de carga durante os jogos realizados em Curitiba e a indisponibilidade de informações precisas quanto aos parâmetros estocásticos do sistema para tal período, no presente estudo foi realizada uma redução de 10% no tempo de reparo, uma vez que no período da Copa do Mundo FIFA 2014 existiam equipes de plantão específicas para o atendimento ao sistema da COPEL no período compreendido entre duas horas antes e depois dos jogos realizados em Curitiba.

Dessa forma, foram realizadas novas simulações no *software* NH2 e os resultados de tal análise são apresentados na tabela 4.8.

Tabela 4.8: Índices de confiabilidade do cenário 03

CENÁRIO 03 – Copa do Mundo FIFA 2014	
ÍNDICE	RESULTADO
LOLP	0,6501 %
LOLE	56,948 h/ano
LOLF	1,469 occ./ano
LOLD	0,44255 h
EPNS	6,9623 MW
EENS	60.989,75 MWh/ano
LOLC	R\$ 213.464.118,00
Severidade	49,23 minutos sistema (GRAU 2)

Fonte: Elaboração Própria

De forma a possibilitar uma comparação direta entre os índices de confiabilidade obtidos para o período da Copa do Mundo FIFA 2014 com os outros dois cenários analisados, os índices obtidos são referenciados ao período de um ano.

Vale destacar que um dos aspectos principais durante a realização da Copa do Mundo nas cidades-sedes era o atendimento sem interrupção do estádio de futebol onde se realizavam as partidas. Levando este aspecto em conta, e convertendo os valores obtidos para os índices de confiabilidade obtidos de forma anual no cenário 03 para o período do jogo (aproximadamente 6 horas, considerando-se as duas horas antes do início da partida, bem como as duas horas após o término da mesma), percebe-se que a probabilidade de falha se mostrou extremamente reduzida. Um exemplo disto é o índice LOLE, que resulta em um valor de 0,039 horas, que equivale à 2,34 minutos, confirmando os boletins oficiais, que não verificaram falhas no sistema durante as partidas disputadas durante o evento.

4.2.3.1 COMPARATIVO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Após a obtenção dos indicadores de confiabilidade para todos os cenários estudados, foi realizado um comparativo entre tais, de forma a avaliar e verificar o ganho previsto proveniente das obras destinadas a Copa do Mundo FIFA 2014. Tal comparativo é apresentado na tabela 4.9 a seguir.

Tabela 4.9: Comparativo dos Resultados

ÍNDICE	RESULTADOS		
	CENÁRIO 01	CENÁRIO 02	CENÁRIO 03
LOLP	0,9812%	0,7348%	0,6501 %
LOLE	85,95312 h/ano	64,368 h/ano	56,948 h/ano
LOLF	1,5302 occ./ano	1,494 occ./ano	1,469 occ./ano
LOLD	0,64122 h	0,491834 h	0,44255 h
EPNS	6,9748 MW	7,5465 MW	6,9623 MW
EENS	61.099,248 MWh/ano	66.107,34 MWh/ano	60.989,75 MWh/ano
LOLC	R\$ 213.847.368,00	R\$ 231.375.690,00	R\$ 213.464.118,00
Severidade	47,03 minutos sistema (GRAU 2)	47,43 minutos sistema (GRAU 2)	49,23 minutos sistema (GRAU 2)

Fonte: Elaboração Própria

A partir da tabela 4.6 percebe-se que as obras realizadas para a Copa do Mundo FIFA 2014 não apenas cumpriram as exigências mínimas da FIFA quanto à alimentação do estádio e seus arredores, como também melhoraram as condições globais do sistema elétrico da cidade de Curitiba e região metropolitana.

Para os índices EPNS e EENS, ressalta-se que não se deve realizar uma comparação direta entre os índices, pois existem diversos fatores que influem em tais resultados, conforme já descrito nos itens anteriores.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constata-se que se tratando de sistemas elétricos de potência, muitos fatores influenciam a curva de carga (demanda) de uma dada região, ou mesmo de um sistema interligado (como é o caso do Brasil). Um destes fatores foi o alvo desta análise, verificando-se que uma simples partida de futebol pode acarretar diversos

comportamentos distintos na curva de carga do sistema, podendo desta forma, gerar instabilidade nas redes de energia, bem como causar o desligamento parcial ou total das mesmas.

Desta forma, é altamente necessário o correto planejamento dos sistemas elétricos brasileiros, não só para ampliações em longo prazo, como para atendimento a eventos específicos. Neste aspecto entra a confiabilidade, que possui o intuito principal de garantir o fornecimento de energia elétrica sem interrupções e com a qualidade necessária aos consumidores conectados a tal sistema, sempre se buscando formas de melhorar as condições técnicas e operacionais das linhas de distribuição e seus equipamentos correlacionados.

Aliado a isso, verifica-se que as obras realizadas no sistema elétrico da COPEL melhoraram a confiabilidade do sistema elétrico como um todo, e em particular na região de Curitiba.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas de forma resumida as principais conclusões obtidas no presente trabalho, bem como a apresentação de possíveis temas para trabalhos subsequentes.

5.1 CONCLUSÕES

No ano de 1900, na Olimpíada de Paris, estreava para o cenário internacional o futebol, um dos esportes que possuem o maior número de fãs na atualidade, alcançando todos os locais do globo.

Todo esse sucesso traz consigo diversas consequências, entre as quais se podem citar a variação no comportamento da carga demandada no sistema elétrico de um país ou região. Isso foi uma das motivações iniciais para a realização do presente trabalho de conclusão, de forma a contribuir para o estudo do comportamento da demanda de energia bem como a confiabilidade dos sistemas elétricos brasileiros.

Para tanto foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o assunto, incluindo a análise dos documentos oficiais disponibilizados pelo ONS e demais órgãos responsáveis pela energia elétrica do Brasil. Juntamente a isso, foram levantados os conceitos relacionados à confiabilidade dos sistemas elétricos de potência.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, percebeu-se que a energia demandada sofre grande influência para os casos de jogos da seleção brasileira de futebol, não apenas relacionada ao jogo em si, como também outros fatores intrínsecos à partida, dos quais se pode citar: resultado do jogo, dia da semana, horário da partida, adversários, entre outros.

Essa influência no comportamento da população quanto ao consumo de energia elétrica confere não só aos concessionários de energia como também ao ONS uma responsabilidade ainda maior quanto ao fornecimento de energia elétrica sem interrupções e com a qualidade mínima exigida.

Vale ressaltar que, para o caso do jogo entre a seleção brasileira e chilena, o planejamento não considerou o período de disputa dos pênaltis, que manteve o consumo em patamares inferiores ao previsto. Tal situação, diferentemente do ocorrido na partida entre Brasil e Alemanha, não apresentou riscos de fornecimento, acarretando apenas o não acionamento/aumento da geração de usinas que se encontravam preparadas para a situação planejada.

Já o jogo entre a seleção brasileira e a alemã criou uma situação crítica para o sistema elétrico de potência brasileiro, uma vez que o consumo se manteve acima do planejamento logo no início do segundo tempo regular. Tal situação resultou na necessidade de acionamento de usinas térmicas de forma emergencial, visto que as usinas hidrelétricas possuem um tempo intrínseco ao seu aumento de geração, o que por sua vez não ocorre nas termoelétricas.

Esse funcionamento emergencial de usinas que possuem um custo de geração superior ao de usinas hidrelétricas resultou em prejuízos para todos os setores da economia brasileira, uma vez que tal custo é repassado às tarifas e posteriormente aos consumidores conectados à rede elétrica brasileira.

Uma vez que a Copa do Mundo FIFA 2014 contou com 12 sedes no país, foram realizadas as análises do comportamento da carga para os dias de jogos na cidade de Curitiba. Diferentemente do ocorrido para os casos de partidas da seleção brasileira, as curvas de carga da cidade de Curitiba e região metropolitana não sofreram influências provenientes dos jogos realizados no estádio Joaquim Américo Guimarães (Arena da Baixada).

No que tange a análise do ganho de confiabilidade previsto nos subsistemas da COPEL devido às obras para atendimento ao evento esportivo em 2014, verificou-se uma melhora global, demonstrando-se assim que além do atendimento aos padrões exigidos pela FIFA para a realização do evento na cidade de Curitiba, o sistema elétrico de tal região encontra-se atualmente menos propenso a falhas, garantindo assim um fornecimento de energia com qualidade e contínua, sem interrupções.

Um exemplo desta melhora é o índice LOLE para os três cenários avaliados, onde se percebe uma redução de 25,1% quando se compara o cenário 01

(março/2013) e o cenário 02 (fevereiro/2015). Tal redução é ainda maior quando se compara o primeiro cenário e o cenário 03 (Copa do Mundo FIFA 2014), já que esta redução chega a 33,7%.

Existem ainda índices que apresentaram um aumento quando comparados ao cenário inicial, em março de 2013, porém nestes casos o índice possui relação intrínseca ao aumento de carga demandada ao longo dos anos.

Ressalta-se ainda que para o cenário 03, os índices se apresentam melhores aos outros dois cenários estudados, uma vez que durante a Copa do Mundo FIFA 2014 foram mantidas equipes de plantão para o atendimento de possíveis falhas no sistema, além de outras ações específicas para tal situação.

De maneira geral, a confiabilidade do sistema elétrico de potência possui uma atenção especial por parte dos concessionários de energia (no caso da região de Curitiba e região metropolitana a COPEL), visto que o não fornecimento de energia de forma contínua e qualidade mínima exigida pela legislação vigente causa não apenas penalidades para as companhias de energia, como também a insatisfação dos clientes cativos conectados à rede.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentados os temas que poderão ser abordados em trabalhos que desejem dar continuidade ao assunto abordado até o momento:

- Análise do comportamento da carga no Sistema Elétrico Brasileiro durante as Olimpíadas e Paralimpíadas Rio 2016.
- Realizar análises de confiabilidade em outros subsistemas elétricos da COPEL.
- Realizar a análise da confiabilidade nos subsistemas alvos deste trabalho, porém adotando-se outros períodos e situações de carregamento.
- Realizar a análise dos índices de confiabilidade a partir de metodologias distintas às apresentadas no presente estudo, agora considerando a avaliação de reserva operacional.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Nelson R., FARIAS, Douglas A. A. de. **Identificação de curvas de carga diária típicas com uso de Mapa de Kohonem e Fuzzy C-Means**. Laboratório de Inteligência Aplicada – ICA. Rio de Janeiro, jul. 2006. Disponível em: <http://rica.ele.puc-rio.br/media/ICA01_AlbuquerqueeFarias.pdf> Acesso em: 16 fev. 2015

ANAREDE – **Análise de Redes Elétricas**. Disponível em: <<http://www.anarede.cepel.br>> Acesso em: 25 out. 2015

ANDRADE, Waltencir S. **Avaliação da confiabilidade de sistemas de distribuição e sub-transmissão considerando geração distribuída**. Rio de Janeiro, out. 2007. Disponível em: <<http://www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2007101801.pdf>> Acesso em: 04 abr. 2015

BORGES, Carmen L. T. **Confiabilidade de sistemas de potência**. Parte I. UFRJ. Rio de Janeiro, set. 2005.

BRASIL. ANEEL. **Nota Técnica nº 0056/2011**. Acompanhamento das obras do setor de distribuição de energia elétrica relacionadas à Copa do Mundo FIFA 2014. Brasília, 2011.

_____. _____. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_6_Retificac%C3%A7%C3%A3o_1.pdf> Acesso em: 27 jan. 2015

_____. _____. **Resolução Normativa nº 641, de 16 de dezembro de 2014**. Aprova a revisão 9 do módulo 6 e a revisão 6 do módulo 8 dos procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2014641.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2015

_____. EPE. **Estudos Associados ao Plano Decenal de Energia PDE 2007/2016 – Transmissão de Energia Elétrica**. Análise dos índices de confiabilidade do SIN. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Transmissao/Documents/Estudos_21/An%C3%A1lise%20dos%20%C3%ADndices%20de%20confiabilidade%20do%20SIN.pdf>. Acesso em: 27 out. 2015.

_____. EPE. **Nota Técnica nº EPE-DEE-NT-028/2014-r0**: Atualização do Valor do Patamar Único de custo de Déficit - 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/NT_CustodeDeficit_2014_EPE-DEE-RE-028_2014_r0.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2015

_____. EPE. **Estudos Associados ao Plano Decenal de Energia PDE 2007-2016**. Análise dos Índices de Confiabilidade do SIN. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Transmissao/Documents/Estudos_21/An%C3%A1lise%20dos%20%C3%ADndices%20de%20confiabilidade%20do%20SIN.pdf> Acesso em: 01 abr. 2016.

_____. MME. **Preparação para os Grandes Eventos Copa do Mundo 2014 e Jogos Olímpicos 2016**. Brasília, set. 2013. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cffc/audiencia-publica/2013/2013-arquivosoriginais/MMEPreparaoparaosGrandesEventos_Set2013.pptx> Acesso em: 27 jan. 2015.

_____. ONS. **Boletins da Copa do Mundo FIFA 2014**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/sala_imprensa/ONSocopa2014.aspx> Acesso em: 01 abr. 2016.

_____. ONS. **Boletim de Carga Mensal – Março/2013**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/analise_carga_demanda/Boletim%20Mensal%20201303.pdf> Acesso em: 01 jul. 2016.

_____. ONS. **Boletim de Carga Mensal – Junho/2014**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/sala_imprensa/Boletim_Mensal-JUN-2014_final.pdf> Acesso em: 01 jul. 2016.

_____. ONS. **Boletim de Carga Mensal – Fevereiro/2015**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/sala_imprensa/Boletim_Mensal-FEV-2015_final.pdf> Acesso em: 01 jul. 2016.

_____. ONS. **Nota Técnica NT – 0084/2014**. Diretrizes para a operação do Sistema Interligado Nacional (SIN) durante a Copa do Mundo FIFA 2014. Revisão 2. Disponível em: <http://www.ons.org.br/publicacao/plopel-cpm/2014/ONS%20NT-0084-2014%20Diretrizes%20para%20a%20Opera%C3%A7%C3%A3o%20do%20SIN%20durante%20a%20Copa%20do%20Mundo%20FIFA%202014_Revis%C3%A3o%201.pdf> Acesso em: 08 nov. 2015

_____. ONS. **Premissas adotadas para previsão da carga nos dias de jogos da Copa do Mundo 2014**. 1ª Reunião Técnico-Gerencial entre ONS e Agentes da região sul e Mato Grosso do Sul. Florianópolis, 2014.

CARVALHO, Leonel de M. **Advances on the Sequential Monte Carlo Reliability Assessment of Generation-Transmission Systems using Cross-Entropy and Population-based Methods**. 2013. 218 f. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2013.

CASSULA, A. M, et. al. **Avaliação da Confiabilidade em sistemas de distribuição considerando falhas de geração e transmissão**. Revista SBA Controle e Automação. São Paulo, v. 14. n. 3, jul. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-17592003000300005&script=sci_arttext> Acesso em: 23 set. 2015.

CEPEL. **ANAREDE: Análise de Redes Elétricas**. Disponível em: <<http://www.cepel.br/main.jsp?lumPagelId=4028E49E325E430B01325F8AA0E23338&lumS=cepelinternet.produto&CodProduto=4028B88136E3DBC70136E40D40752CB2&CodSubTipoProduto=4028B88136E3DBC70136E40CD8D21B9B&lumItemId=4028B88136E3DBC70136E40D40CB2CB4>> Acesso em: 29 out. 2015a.

_____. **NH2: Análise Probabilística e de Confiabilidade.** Disponível em: <<http://www.cepel.br/main.jsp?lumPageld=21CF888C4A1692FF014A784FD2AE60D0&lumS=cepelinternet.produto&CodProduto=4028B88136E3DBC70136E40D48822E08&lumItemld=4028B88136E3DBC70136E40D489C2E0A>> Acesso em: 29 out. 2015b.

_____. **Programa de Análise de Redes.** Manual do usuário, V10.00.02. Fevereiro, 2015.

COPEL – **Mapa Geométrico do Paraná.** Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Ftransmissao%2Fpagocopel2.nsf%2Fdocs%2FAA05A48B08082B3A03257410006EE836>> Acesso em: 31 out. 2015

DAHER, Renato; BENEDITO, Raphael A. S. **Primeiros passos: Software ANAREDE.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/raphaelbenedito/planejamento-de-sistemas-energeticos/aulas>> Acesso em: 29 out. 2015

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE FOOTBALL ASSOCIATION. **2014 FIFA World Cup Brazil: Technical Report and Statistics.** Zurich. Disponível em:<http://www.fifa.com/mm/document/fifafacts/organisation/02/13/11/06/03072013a11aboutfifa_neutral.pdf> Acesso em: 17 fev. 2015

_____. **All About FIFA:** Develop the game, touch the world, build a better future. Zurich, jan. 2012. Disponível em:<http://www.fifa.com/mm/document/fifafacts/organisation/02/13/11/06/03072013allaboutfifa_neutral.pdf> Acesso em: 17 fev. 2015

_____. **Estádios de Futebol:** Recomendações e requisitos técnicos. 5 ed. Zurich, 2011. Disponível em:< http://img.fifa.com/mm/document/tournament/competition/01/37/17/76/p_sb2010_stadiumbook_ganz.pdf> Acesso em: 14 nov. 2015

FLÁVIO, Silvan A.. **Avaliação da Confiabilidade Composta de Sistemas Elétricos de Potência com elevada penetração de energia renovável.** 2011. 290 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São João Del Rei. São João Del Rei, MG, 2011. Disponível em: < <http://www.ppgel.ufsj.edu.br/portal/images/stories/Arquivos/dissertacao004.pdf> > Acesso em: 30 out. 2015.

GAZETA DO POVO. **História das Copas.** Curitiba, 2006.

GOOGLE EARTH

GOVERNO DO PARANÁ. **Projeto: 9 – Energia Elétrica para a Copa do Mundo 2014.** Disponível em: <http://www.copa2014.pr.gov.br/arquivos/File/contratos_de_gestao/9_ENERGIA_ELETRICA_05_04.pdf> Acesso em: 25 jun. 2015

LIMA, João M.; LOURENÇO, Elizete M. ; SCHILLING, Marcus T. **Desafios e vantagens da utilização de critérios probabilísticos no planejamento de sistemas elétricos.** Revista SBA Controle e Automação. São Paulo, v. 23. n. 4, jul.

2012. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ca/v23n4/a07v23n4.pdf>> Acesso em: 23 set. 2015.

MARSENCO, Flávia B.; NASCIMENTO, Thiago D.; PAULINO, Thiago L.. **Análise de Risco e Confiabilidade de Linha de Transmissão Subterrânea 230 kV isolada com XLPE**. 2011. 133 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

NH2 – **Análise de Confiabilidade**. Disponível em: <<http://www.nh2.cepel.br>> Acesso em: 25 out. 2015

NOGUEIRA, Gisela A. S.. **Identificação dos Beneficiários e Alocação de Custos de Fontes de Potência Reativa**. 2003. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2003. Disponível em: < <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/>> Acesso em: 30 out. 2015.

OLIVEIRA, Adilson de. Crise na confiabilidade do setor elétrico. **Valor Econômico**. São Paulo, mar. 2013. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/opiniao/3054104/crise-na-confiabilidade-do-setor-eletrico>> Acesso em: 03 mai. 2015

PIAZZA, Gilberto. **Introdução à Engenharia da Confiabilidade**. Caxias do Sul, RS: EDUCS, 2000.

RESENDE, Leonidas C. de. **Avaliação da Confiabilidade Preventiva de Sistemas de Potência**. 2002. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG, 2002. Disponível em: < <http://saturno.unifei.edu.br/bim/0031134.pdf>> Acesso em: 31 out. 2015.

ROSA, Mauro Augusto da. **Agent-based Technology Applied to Power Systems Reliability**. 2009. 207 f. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2009. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57556/1/000137146.pdf>> Acesso em: 28 nov. 2015.

SANTOS, Diogo L. N.; DAHER, Renato; NAZARI, Vagner. **Análise Estática de Sistema Elétrico de Potência Utilizando o Software ANAREDE**. 2013. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: < http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/984/1/CT_COELE_2012_2_12.pdf> Acesso em: 29 out. 2015.

SCHILLING, Marcus Theodor ; MELLO, João C. O.; GOMES, Paulo. **Introdução da confiabilidade composta no planejamento da operação elétrica**. Revista SBA Controle e Automação. São Paulo, v. 6. n. 1, jan. 1995. Disponível em: < www.sba.org.br/revista/volumes/v6n1/v6n1a06.pdf> Acesso em: 23 set. 2015.

SIMPÓSIO JURÍDICO DAS EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO, 2012, Rio de Janeiro. **Síntese dos trabalhos do GT Copa 2014**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em:<<http://www.jure.funcoge.org.br/anteriores/IV/Arquivos/Palestras/Palestra%20Copa%20do%20Mundo%202014.pptx>> Acesso em: 27 jan. 2015.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Copa do Mundo de 2014:** Acompanhamento das Ações necessárias ao fornecimento de energia para a Copa do Mundo de 2014. Disponível em: < http://www.tcu.gov.br/Consultas/Juris/Docs/judoc/Acord/20140221/AC_0380_05_14_P.doc.> Acesso em: 14 nov. 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Sistema BDCConf – Indicadores de Desempenho Probabilístico de Componentes de Geração e Transmissão do SIN – Volume I.** Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/ampliacao_reforços/confiabilidade/volume%20i-indicadores_desempenho_revisado.pdf> Acesso em: 01 abr. 2016.

ANEXOS

ANEXO 1 – MAPAS GEOELÉTRICOS DO ESTADO DO PARANÁ

SISTEMA ELÉTRICO DE TRANSMISSÃO - ABRIL/2012

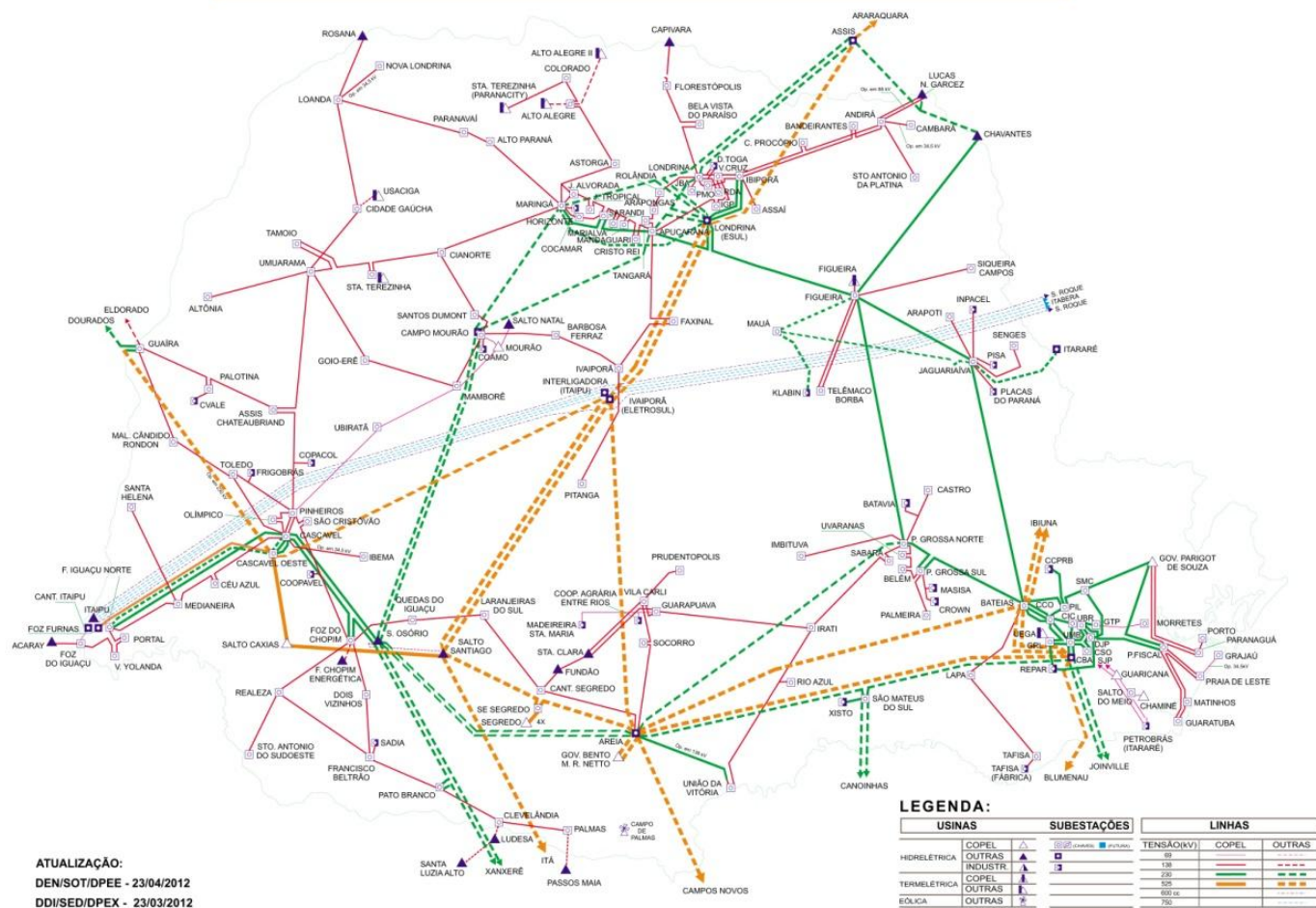
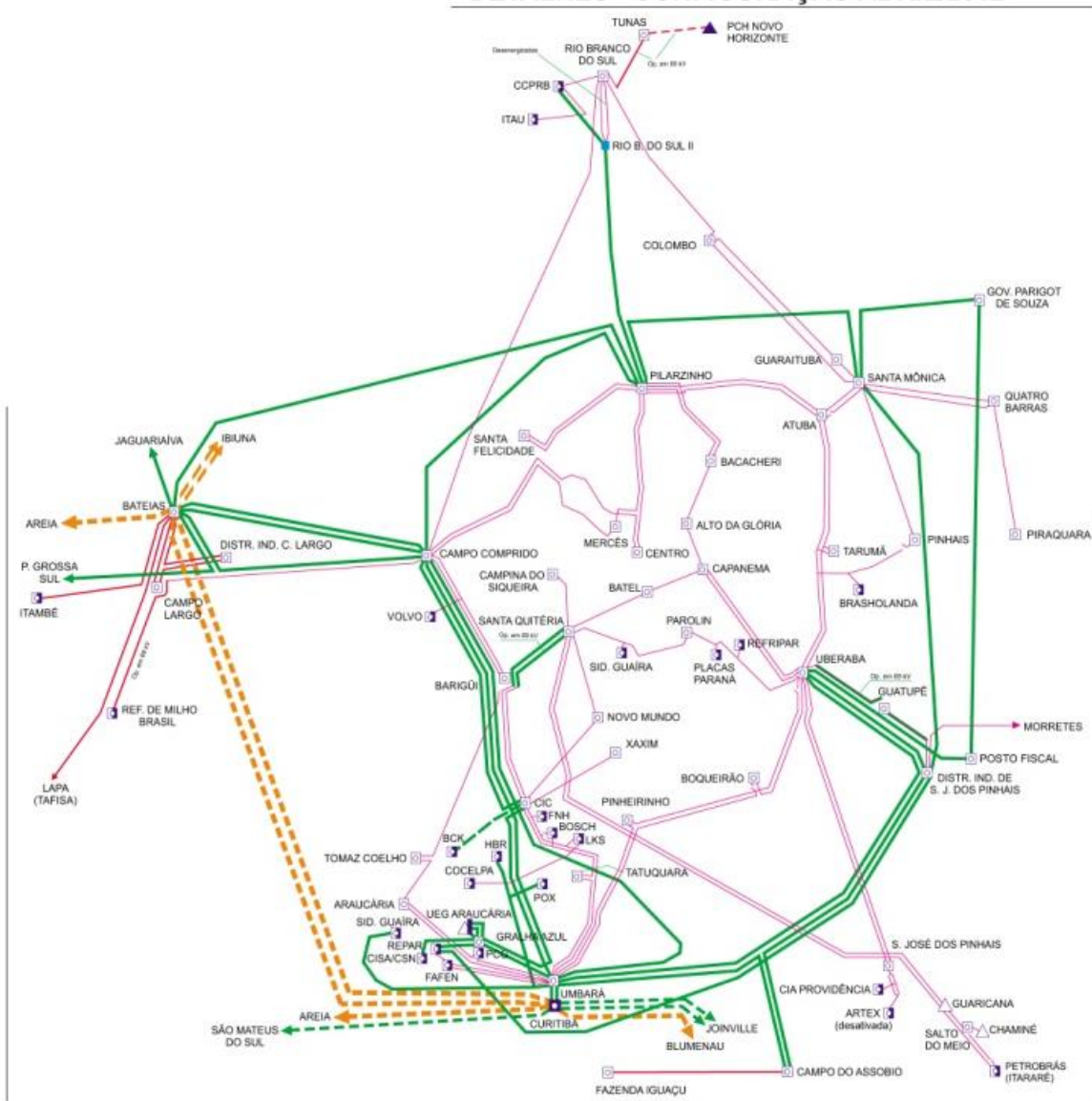


Figura A-1: Mapa Geométrico do estado do Paraná – Ano 2012
Fonte: COPEL (2015)

DETALHES - CONFIGURAÇÃO ABRIL/2012



DETALHE DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

LEGENDA:

USINAS		SUBESTAÇÕES		LINHAS		
HIDRELÉTRICA	COPEL			TENSÃO(kV)	COPEL	OUTRAS
	OUTRAS			69		
	INDUSTR.			138		
TERMELÉTRICA	COPEL			230		
	OUTRAS			525		
EÓLICA	OUTRAS			600 cc		
				750		

Figura A-2: Detalhe Curitiba e região metropolitana – Ano 2012
Fonte: COPEL (2015)

SISTEMA ELÉTRICO DE TRANSMISSÃO - OUTUBRO/2014

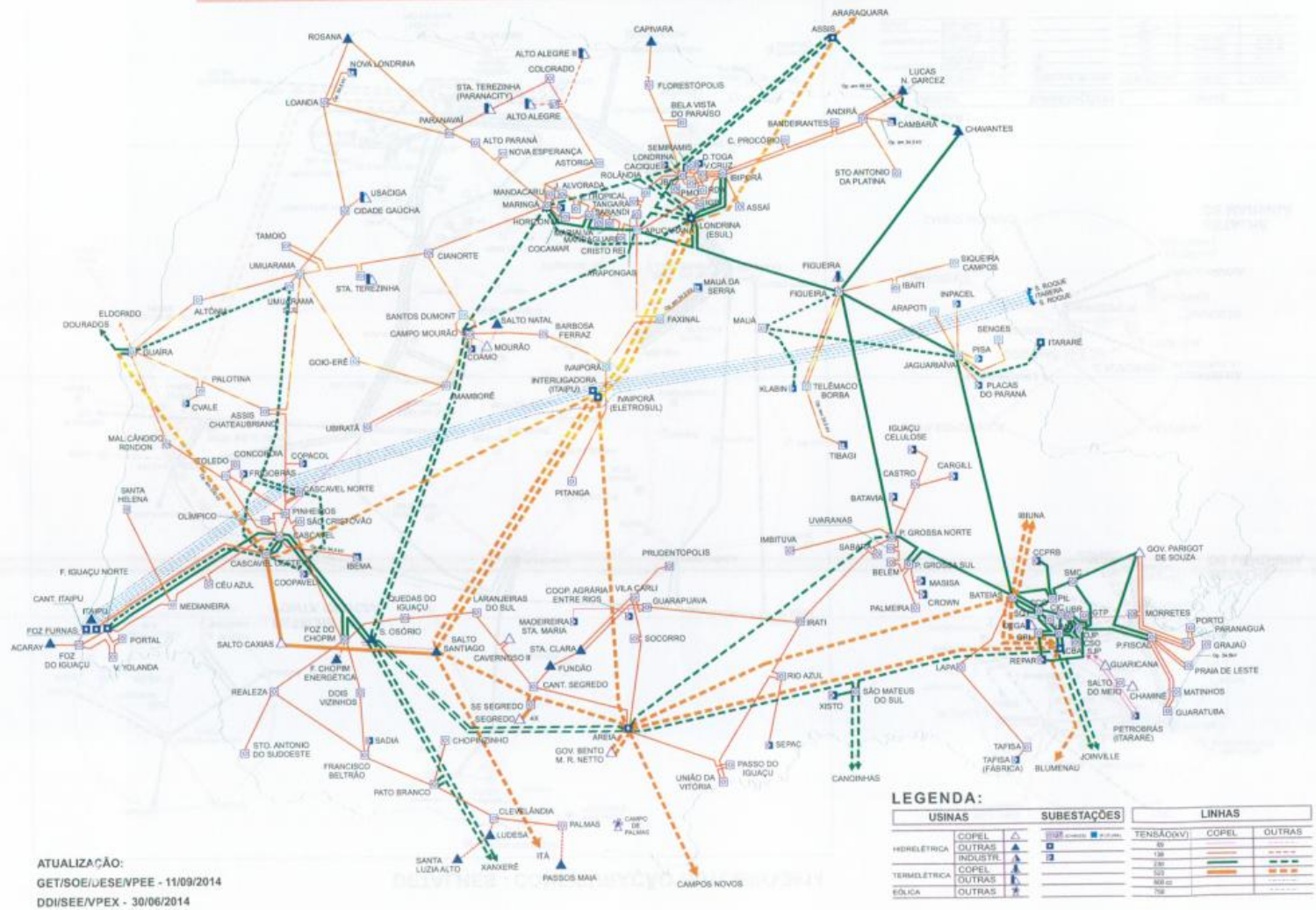
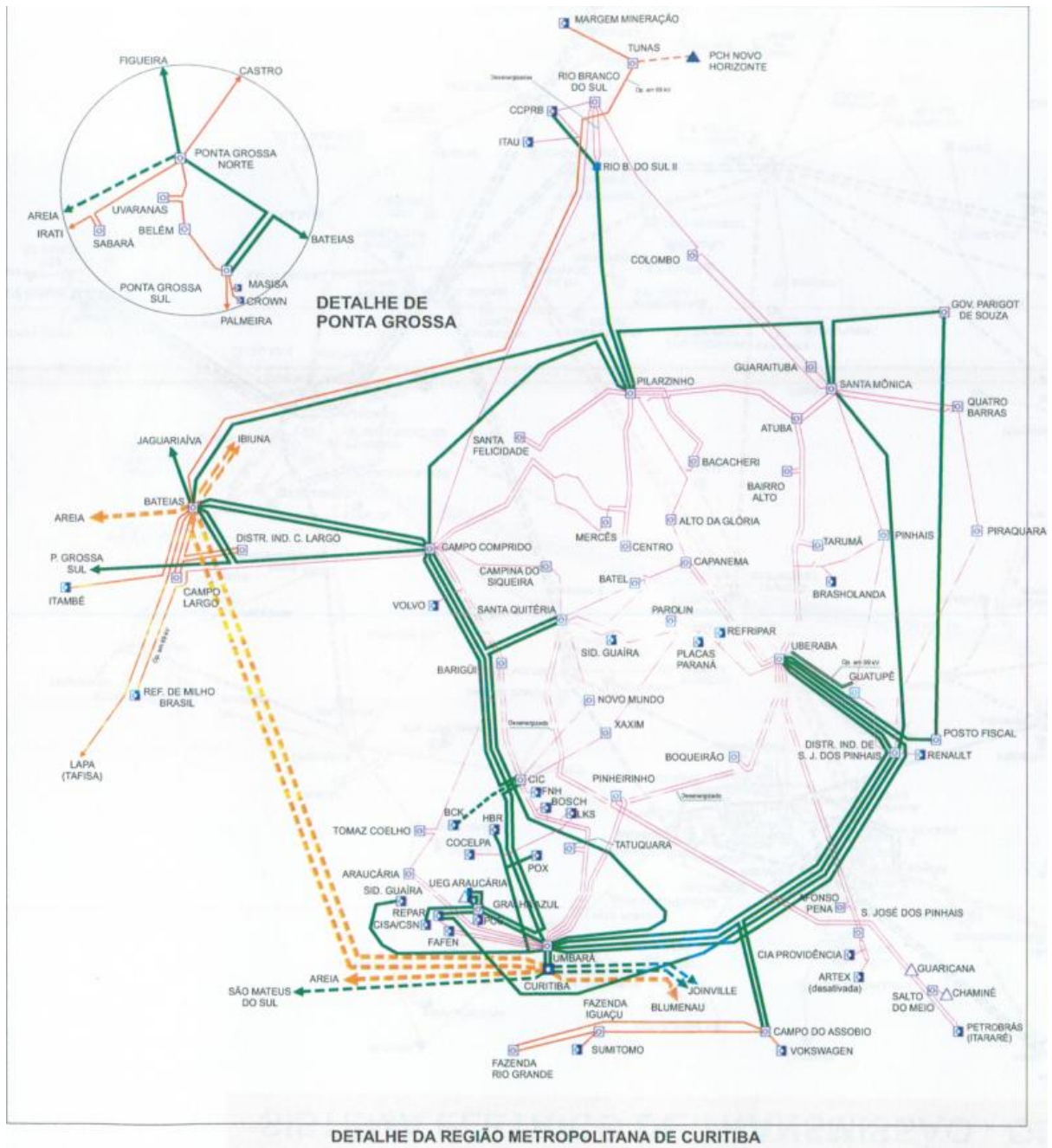


Figura A-3: Mapa Geométrico do estado do Paraná – Ano 2014
Fonte: COPEL (2015)



LEGENDA:

USINAS			SUBESTAÇÕES		LINHAS		
HIDRELÉTRICA	COPEL				TENSÃO(kV)	COPEL	OUTRAS
	OUTRAS				69		
	INDUSTR.				138		
TERMELÉTRICA	COPEL				230		
	OUTRAS				525		
EÓLICA	OUTRAS				600 cc		
					750		

Figura A-4: Detalhe Curitiba e região metropolitana – Ano 2014
 Fonte: COPEL (2015)