

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADRIANA SATY HIRANO MARCHIORO BERTELLI

BRUNO CESAR XAVIER



CURITIBA

2018

ADRIANA SATY HIRANO MARCHIORO BERTELLI

BRUNO CESAR XAVIER

ELABORAÇÃO DE METODOLOGIA DE ENSAIO DE ENVELHECIMENTO
ACELERADO DE ISOLADORES DE ANCORAGEM APLICADOS EM CONDIÇÕES
DE ALTA AGRESSIVIDADE AMBIENTAL.

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito parcial à obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista ao Curso de
Engenharia Elétrica do Setor de Tecnologia da
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Ribeiro Junior

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

ADRIANA SATY HIRANO MARCHIORO BERTELLI
BRUNO CESAR XAVIER

ELABORAÇÃO DE METODOLOGIA DE ENSAIO DE ENVELHECIMENTO
ACELERADO DE ISOLADORES DE ANCORAGEM APLICADOS EM CONDIÇÕES
DE ALTA AGRESSIVIDADE AMBIENTAL.

Trabalho De Conclusão De Curso Aprovado Como Requisito Parcial À
Obtenção Do Título De Engenheiro Eletricista No Curso De Engenharia Elétrica, Setor
De Tecnologia, Universidade Federal Do Paraná, Pela Seguinte Banca Examinadora:

Prof. Dr. Sebastiao Ribeiro Junior

Orientador – Setor de Engenharia Elétrica da Universidade federal do Paraná, UFPR

Prof. Dr. Prof. Dr. James Alexandre Baraniuk

Setor de Engenharia Elétrica da Universidade federal do Paraná, UFPR

Prof. Dr. Prof. André Bellin Mariano

Setor de Engenharia Elétrica da Universidade federal do Paraná, UFPR

CURITIBA, 18 DE JUNHO DE 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por toda a força, ânimo e coragem que nos fez alcançar nossos objetivos.

Agradecemos ao orientador Prof. Dr. Sebastião Ribeiro Junior pela oportunidade que foi dada nos orientar nesse trabalho.

Agradecemos os Professores da Universidade Federal do Paraná que trabalharam em prol da educação e crescimento dos alunos.

Agradecemos aos Institutos LACTEC pelo fornecimento de materiais e estrutura para a realização deste trabalho.

Agradecemos toda equipe do LACTEC que nos ajudaram durante esse trabalho, em especial aos nossos amigos, Rafael G. de Lima e Gabriella L. C. Costa.

Agradecemos aos nossos amigos da Universidade Federal do Paraná por todos estes anos de convivência, irmandade e parceria.

Eu Adriana Saty Hirano Marchioro Bertelli, agradeço aos meus pais, Telma T. H. Bertelli e Edson M. Bertelli pelo amor, inspiração, motivação e apoio em tudo que foi necessário na minha vida.

Eu Adriana Saty Hirano Marchioro Bertelli, agradeço ao meu namorado, Bruno R. da Silva, pela companhia, carinho e por ter me ajudado a passar mais tranquilamente pelos momentos difíceis.

Eu Bruno Cesar Xavier agradeço aos meus pais Darcy Xavier e Monica H. Xavier, meus irmãos Darcy Ricardo Xavier e Carlos Eduardo Xavier pela dedicação, amor e apoio na minha caminhada acadêmica.

Eu Bruno Cesar Xavier Agradeço a minha namorada Dayane Rocha por toda a paciência e apoio nessa caminhada.

RESUMO

Dispositivos elétricos são submetidos a intemperes ambientais, estressamentos elétricos, mecânicos e térmicos em campo. Seus desempenhos em relação à exposição do ambiente estão diretamente ligados aos materiais que os compõe. Como as concessionárias de energia e as fabricantes impõe requisitos construtivos e de suportabilidade, é relevante avaliar a eficiência de isoladores poliméricos realizando análises pertinentes a estruturas de seus componentes. Assim, é possível averiguar a versatilidade desses materiais frente aos diversos ambientes que eles podem ser alocados e adquirir mais conhecimento para aprimorar a estruturas. Nesse trabalho, foram avaliados três fabricantes de isoladores poliméricos a partir do ensaio de envelhecimento acelerado em laboratório, que atua de forma rápida e controlada. Com o objetivo de trazer uma resposta semelhante àquela de campo, nesta metodologia é proposta a modificação do ensaio de Roda de Trilhamento, a qual visa a introdução de lâmpadas de radiação UV. É possível, dessa maneira, simular condições como radiação solar, alta tensão e exposição à poluição. Outro diferencial é a avaliação da amostra na sua montagem estrutural completa, diferente da grande maioria dos ensaios. Ao final desse trabalho, serão demonstrados os resultados obtidos dessa avaliação, tanto da montagem da estrutura e seus controles, quanto aos ensaios pré e pós a passagem dos isoladores pelo ensaio de Roda de Trilhamento.

Palavras-chave: Isoladores Poliméricos, Hidrofobicidade, Corrente de fuga, Resistividade Superficial, Degradação de Materiais.

ABSTRACT

Electrical devices are submitted to weather conditions, electrical, mechanical and thermic stresses in the field. Their behavior in relation to environmental exposure is directly connected to their component materials. As the power distribution company and the manufactures assert constructive and serviceability requirements, it is relevant to evaluate the efficiency of polymeric insulators by analyzing their component structure. Therefore, it is possible to determine the versatility in relation to the environment in which they might be placed and obtain more data to improve their structure. In this essay, polymeric insulators of tree manufactures were evaluated on accelerated aging laboratory test, which occurs in a fast and controlled scenery. In order to have a similar answer to the field one, this methodology propose to modify the Roda de Trilhamento test, which aims to introduce UV radiation lamps. Thus, it is possible to simulate conditions such as solar radiation, high voltage and pollution exposure. Another particularity is that this test evaluates the sample in its complete structural configuration, differing from most tests. In conclusion, the results of these tests will be demonstrated both in its structural assembly and controls and in tests carried out before and after passage of the insulators through the main test.

Key words: Polymeric Insulator, Hydrophobicity, Leakage Current, Superficial Resistance, Material Degradation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ISOLADOR POLIMÉRICO NO SEP	22
FIGURA 2 - VISTA EM CORTE DO ISOLADOR POLIMÉRICO	23
FIGURA 3 - TIPOS DE FERRAGEM DE ENGATE	23
FIGURA 4 - DISTÂNCIA DE ESCOAMENTO	24
FIGURA 5 – PROCESSO DE TRILHAMENTO ELÉTRICO	26
FIGURA 6 - ARRANJO DE ENSAIO DA RODA DE TRILHAMENTO	31
FIGURA 7 - HIDROFOBICIDADE NO ISOLADOR	32
FIGURA 8 - MÉTODO DO ÂNGULO DE CONTATO	33
FIGURA 9 - CRITÉRIOS DE DETERMINAÇÃO DA CLASSE DE MOLHABILIDADE (CM)	33
FIGURA 10 - EXEMPLOS TÍPICOS COM CM	34
FIGURA 11 - DESENHO ESQUEMÁTICO PARA COMPARAÇÃO ENTRE MICROSCÓPIO ÓPTICO E MEV.	36
FIGURA 12 - FLUXOGRAMA DO PROJETO	40
FIGURA 13 - ENSAIO MODIFICADO DE RODA DE TRILHAMENTO	42
FIGURA 14 - PAINEL DE CONTROLE A) VISÃO EXTERNA B) VISÃO INTERNA..	44
FIGURA 15 - APLICAÇÃO DE LUZ ULTRAVIOLETA.....	45
FIGURA 16 - Mediação realizada com o equipamento CR10. A) Medida de UV-A antes do ensaio B) Medida de UV-B antes do ensaio C) Medida de UV-A Após o termino do ensaio D) Medida de UV-B após o termino de ensaio.	46
FIGURA 17 - CONDUTIVÍMETRO E AMOSTRA DE ÁGUA DEIONIZADA	47
FIGURA 18 - SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA A) BOMBA B) FILTRO	48
FIGURA 19 - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA	49
FIGURA 20 - AJUSTE DE TENSÃO NA ENTRADA DO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA.....	50
FIGURA 21 - VERIFICAÇÃO DO VALOR DA TENSÃO APLICADA DO ISOLADOR, A) EXPOSIÇÃO DA MONTAGEM DA PONTA DE PROVA E B) POSICIONAMENTO DA PONTA DE PROVA NO PONTO DE ALTA TENSÃO.	51
FIGURA 22 - APLICAÇÃO DA TENSÃO NOS ISOLADORES ENSAIADOS.....	52

FIGURA 23 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE TRANSDUÇÃO DE CORRENTE DE FUGA	53
FIGURA 24 - ELETRODO DE CONTATO PARA AQUISIÇÃO DA CORRENTE DE FUGA	53
FIGURA 25 - CIRCUITO EMISSOR E FONTE DE ALIMENTAÇÃO.....	54
FIGURA 26 - CIRCUITO RECEPTOR	55
FIGURA 27 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE CORRENTE DE FUGA	55
FIGURA 28 - DAC, CIRCUITO RECEPTOR E FONTE	56
FIGURA 29 - CONTADOR DE PULSO	57
FIGURA 30 - ANTEPARO PARA PROTEÇÃO DA RADIAÇÃO UV.....	58
FIGURA 31 – LÂMPADA DE ADVERTÊNCIA.....	58
FIGURA 32 - ATERRAMENTO NOS TANQUES	59
FIGURA 33 – EPI’S UTILIZADOS.....	59
FIGURA 34 - PULVERIZADOR DE PRESSÃO.....	60
FIGURA 35 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ENSAIO DE HIDROFOBICIDADE.....	61
FIGURA 36 – AVALIAÇÃO COM O MEV: A) AMOSTRAS ANALISADAS B) EQUIPAMENTO MEV.....	62
FIGURA 37 – ARRANJO DO ENSAIO DE RESISTIVIDADE SUPERFICIAL	63
FIGURA 38 – MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL	63
FIGURA 39 - ISOLADOR 1 A) Face A B) Face B	64
FIGURA 40 - ISOLADOR 2 A) Face A B) Face B	65
FIGURA 41 - ISOLADOR 3 A) Face A B) Face B	65
FIGURA 42 - ISOLADOR 4 A) Face A B) Face B	66
FIGURA 43 - ISOLADOR 5 A) Face A B) Face B	66
FIGURA 44 - ISOLADOR 6 A) Face A B) Face B	67
FIGURA 45 - ISOLADOR 7 A) Face A B) Face B	67
FIGURA 46 - ISOLADOR 8 A) Face A B) Face B	68
FIGURA 47 - MEDIÇÃO DA DISTÂNCIA DE ESCOAMENTO.....	68
FIGURA 48 - INSPEÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS A) Isolador 1 B) Isolador 2.....	69
FIGURA 49 - INSPEÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS A) Isolador 3 B) Isolador 4.....	70
FIGURA 50 - INSPEÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS A) Isolador 5 B) Isolador 6.....	70

FIGURA 51 - INFLUÊNCIA DA LUZ UV A) CÚPULA DA LÂMPADA B) CRUZETA DE FIXAÇÃO DEGRADADA.....	71
FIGURA 52 - DADOS DE COMPARAÇÃO DA CORRENTE DE FUGA MÁXIMA RMS DA AMOSTRA 1 E AMOSTRA 2	72
FIGURA 53 - DADOS DE COMPARAÇÃO DA CORRENTE DE FUGA MÁXIMA RMS DA AMOSTRA 3 E AMOSTRA 4	72
FIGURA 54 - DADOS DE COMPARAÇÃO DA CORRENTE DE FUGA MÁXIMA RMS DA AMOSTRA 5 E AMOSTRA 6	73
FIGURA 55 - DADOS DE COMPARAÇÃO DA CORRENTE DE FUGA MÁXIMA RMS DA AMOSTRA 7 E AMOSTRA 8	73
FIGURA 56 - ISOLADOR 1 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS- ENVELHECIMENTO	74
FIGURA 57 - ISOLADOR 2 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS- ENVELHECIMENTO	75
FIGURA 58 - ISOLADOR 3 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS- ENVELHECIMENTO	75
FIGURA 59 - ISOLADOR 4 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS- ENVELHECIMENTO	76
FIGURA 60 - ISOLADOR 5 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS- ENVELHECIMENTO	76
FIGURA 61 - ISOLADOR 6 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS- ENVELHECIMENTO	77
FIGURA 62 - ISOLADOR 7 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS- ENVELHECIMENTO	77
FIGURA 63 - ISOLADOR 8 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS- ENVELHECIMENTO	78
FIGURA 64 - LOCAIS DE AVALIAÇÃO MEV PÓS ENSAIO.....	79
FIGURA 65 - MEV DO ISOLADOR MARCA A: A) PRÉ ENSAIO B) PÓS ENSAIO SEM UV C) PÓS ENSAIO COM UV	79
FIGURA 66 - MEV DO ISOLADOR MARCA B: A) PRÉ ENSAIO B) PÓS ENSAIO SEM UV C) PÓS ENSAIO COM UV	80
FIGURA 67 - MEV DO ISOLADOR MARCA C: A) PRÉ ENSAIO B) PÓS ENSAIO SEM UV C) PÓS ENSAIO COM UV	80

FIGURA 68 - MEV DO ISOLADOR MARCA C COM AUMENTO DE 1.000: A) PRÉ ENSAIO B) PÓS ENSAIO SEM UV C) PÓS ENSAIO COM UV	81
FIGURA 69 – AMOSTRA ISOLADOR POLIMÉRICO	82
FIGURA 70 - RESISTIVIDADE SUPERFICIAL FABRICANTE A	83
FIGURA 71 - RESISTIVIDADE SUPERFICIAL FABRICANTE B	83
FIGURA 72 - RESISTIVIDADE SUPERFICIAL FABRICANTE C	84
FIGURA 73 - RESISTIVIDADE SUPERFICIAL: INICIAL X PÓS ENSAIO	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARAÇÃO DIFERENTES MATERIAIS DE ISOLADORES.....	20
TABELA 2 - COMPARAÇÃO DO PESO DE ISOLADOR POLIMÉRICO E CERÂMICO DE DISTRIBUIÇÃO.	21
TABELA 3 – CARACTERISTICA MATERIAIS ISOLANTES	24
TABELA 4 - ISOLADORES UTILIZADOS	37
TABELA 5 - EQUIPAMENTOS DO ENSAIO DE RODA DE TRILHAMENTO	38
TABELA 6 - EQUIPAMENTOS DO ENSAIO DE HIDROFOBICIDADE	39
TABELA 7 - EQUIPAMENTOS DO ENSAIO DE RESITIVIDADE SUPERFICIAL.....	39
TABELA 8 – EQUIPAMENTOS DO ENSAIO DE MEV	39
TABELA 9 - VALORES DE INTENSIDADE DE RADIAÇÃO UV MEDIDOS.	46
TABELA 10 - DISTÂNCIA DE ESCOAMENTO	69

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E/OU SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	– <i>Alternating Current</i>
ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica
ASTM	– <i>American Society for Testing and Materials</i>
ANCI	– <i>American National Standards Institute</i>
CM	– Classe de Molhabilidade
COPEL	– Companhia Paranaense de Energia
DAC	– <i>Data Acquisition</i>
DC	– <i>Direct Current</i>
DEC	– Duração Equivalente de Continuidade
DELT	– Departamento de Engenharia Elétrica
END	– Energia não Distribuída
EPI	– Equipamento Individual de Proteção
HDPE	– <i>High-Density Polyethylene</i>
IEC	– <i>International Electrotechnical Commission</i>
MEV	– Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	– Norma Brasileira
PEAD	– Polietileno de Alta Densidade
QEE	– Qualidade de Energia Elétrica
SEP	– Sistema Elétrico de Potência
SR	– <i>Silicone Rubber</i>
UFPR	– Universidade Federal do Paraná
UV	– Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTO	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivos Específicos	17
1.3 JUSTIFICATIVA	17
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 REDES DE DISTRIBUICAO DE ENERGIA ELÉTRICA	19
2.2 ISOLADORES	20
2.2.1 Isolador Cerâmico	21
2.2.2 Isolador Polimérico	21
2.3 MATERIAIS DIELÉTRICOS	24
2.3.1 Trilhamento Elétrico	25
2.4 FENÔMENOS DE DEGRADAÇÃO DE MATERIAIS DIELÉTRICOS	27
2.4.1 Radiação UV	27
2.4.2 Envelhecimento de Polímeros a reação Ultravioleta	28
2.4.3 Poluição	29
2.5 ENSAIOS	29
2.5.1 Roda de Trilhamento	29
2.5.2 Hidrofobicidade	31
2.5.3 Resistividade Superficial	34
2.5.4 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 MATERIAIS	37
3.1.1 Isoladores	37
3.1.2 Ensaios	37
3.2 MÉTODOS	40
3.2.1 Preparação das amostras	41
3.2.2 Ensaio Modificado de Roda de Trilhamento	41
3.2.3 Ensaios Pré e Pós Envelhecimento	60
3.2.3.1 Hidrofobicidade	60
3.2.3.2 MEV	61

3.2.3.3 Resistência Superficial	62
4 RESULTADOS.....	64
4.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	64
4.2 ENSAIO MODIFICADO DA RODA DE TRILHAMENTO MODIFICADA.....	69
4.2.1 Aquisição da Corrente de Fuga.....	71
4.3 ENSAIOS PRÉ- E PÓS-ENVELHECIMENTO.....	74
4.3.1 Hidrofobicidade	74
4.3.2 MEV.....	78
4.3.3 Resistividade Superficial	82
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	86
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	88
APÊNDICE A – DIAGRAMA ELÉTRICO DO PAINEL DE CONTROLE	94
APÊNDICE B – INTERFACE E DIAGRAMA DE BLOCOS NO LABVIEW.....	95
APÊNDICE C – DADOS DO ENSAIO DE RESISTIVIDADE SUPERFICIAL	103

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A energia elétrica começou a ser utilizada no Brasil no final do século XIX, ela era proveniente de fontes hídricas e pequenas usinas térmicas a lenha, sua produção de energia era exclusivamente para aplicação na iluminação pública. (PAGLIARDI, 2011).

O Setor elétrico brasileiro passou por grandes mudanças nas últimas décadas. Essas mudanças ocorreram devido a livre concorrência existente entre as empresas responsáveis pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. A disputa de mercado entre as empresas, juntamente com as novas diretrizes impostas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estimulou a necessidade de criar ferramentas para monitorar os serviços prestados para se obter a Qualidade da Energia Elétrica (QEE) utilizando-se de indicadores como o DEC – Duração Equivalente de Continuidade, que apresenta informações de quantidades de horas em média por ano, que o consumidor brasileiro fica sem energia elétrica. (ANEEL, 2018).

A Qualidade da Energia Elétrica está diretamente relacionada com as interrupções de energia elétrica não programadas, que causam um grande prejuízo para a indústria e a população. (GARCIA, 2012).

Os consumidores de energia elétrica em sua grande maioria são muito sensíveis as propriedades técnicas da eletricidade fornecida. Pois muitos dispositivos operam de maneira falha, ou não conseguem operar, a menos que a onda de tensão seja perfeitamente senoidal, com frequência e a magnitude constantes e estáveis através do tempo. (CAÑIZARES, 2011).

No Brasil, em especial no estado do Paraná, muitas redes aéreas foram instaladas em uma época em que os critérios de qualificação de materiais ainda não estavam bem estabelecidos, sendo que a atual infraestrutura utilizada na distribuição de energia (isoladores de ancoragem, para-raios e chave fusíveis), já contabilizam vários anos de instalação. Tendo em vista esse cenário, os esforços de pesquisas devem ser direcionados com o intuito de melhorar os materiais empregados nas redes de distribuição, pois, estes influenciam diretamente a confiabilidade e a durabilidade do sistema, pois ao se conhecer quando o material polimérico pode falhar, é possível

prever o período mais adequado para substituir o equipamento ou acessório poliméricos, reduzindo os desligamentos por falhas dos materiais empregados nas linhas de transmissão. (COPEL, 2012).

Segundo dados da Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) em 2010 foram registrados em torno de 116 intervenções em linha de transmissão, sendo que para cada manutenção realizada estão associados custos por não fornecimento de energia, sendo o custo da energia não distribuída (END) no valor de U\$ 2,12/kWh. Analisando o cenário de uma interrupção de energia por 1,5 hora, de um alimentador aéreo, instalados tipicamente em áreas de urbanas com uma carga instalada de 1,5 MVA tem-se o custo de U\$ 4.770,00 por interrupção causada por defeito em componentes, chegando ao montante de U\$ 553.320,00. (COPEL, 2012).

Com o objetivo de diminuir falhas no sistema, o estudo de materiais utilizados na produção de componentes do sistema elétrico, é de grande importância. Por isso é necessário um vasto conhecimento das características, propriedades e comportamento dos materiais utilizados. Para tal fim, deve ser realizado ensaios normatizados para verificar se os mesmos estão dentro dos critérios e assim determinar a escolha mais apropriada. Essa normatização é essencial para que se estabeleça uma linguagem comum entre fornecedores e usuários dos materiais. (GARCIA, ALVARES, SANTOS, 2012).

Neste contexto, este trabalho visa estudar o funcionamento do ensaio, bem como buscar uma melhor análise dos materiais aplicados, sendo assim, é possível que se tenha uma previsibilidade melhor da vida útil do isolador e também conhecimento do desempenho em campo.

1.2 OBJETIVOS

Desenvolver uma metodologia de ensaio elétrico de envelhecimento acelerado de materiais dielétricos, a qual será baseado na norma brasileira NBR 16.326 sobre a roda de trilhamento, afim de verificar o desempenho dos isoladores de alta tensão frente ao estressamento múltiplo dos materiais sobre ação de intemperes ambientais.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Levantamento dos requisitos a partir de artigos, dissertações, livros e normas, para analisar estudos já desenvolvidos no contexto de degradação de materiais, verificando as possibilidades de alteração do ensaio e avaliando os principais critérios;
- Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de materiais dielétricos utilizando radiação ultravioleta;
- Realizar diferentes testes em laboratório a fim de verificar o envelhecimento de diferentes tipos de isoladores;
- Análise de resultados: comparação do estado dos isoladores antes e depois do ensaio, avaliando a resistividade superficial, hidrofobicidade, a superfície do isolador através do MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e a corrente de fuga.

1.3 JUSTIFICATIVA

Materiais poliméricos utilizados em isoladores aplicados a sistema de distribuição de energia elétrica, degradam com a combinação da radiação solar, a umidade presente no ar atmosférico e as variações na temperatura ambiente. Analisando o estado de envelhecimento e degradação do material polimérico (polietileno e silicone), é possível ter um conhecimento mais profundo da matéria prima e posteriormente desenvolver materiais com características melhores, aumentando assim o a resistência dos materiais aos intemperes e diminuindo o custo da manutenção. Com isso será mais fácil definir qual será o material mais adequado para um projeto e prever possíveis erros. (KOLTZENBURG, 2017).

O método proposto, o ensaio de roda de trilhamento, pode ser utilizado para avaliação desses componentes e a verificação do consumo de aditivos antioxidantes (para proteção térmica e anti UV) na isolação, que tem como matéria prima o polietileno. Esse método proposto se baseia no fato de que quando o consumo desse aditivo antioxidante, o polímero degrada rapidamente, alterando suas propriedades elétricas e mecânicas do equipamento ou dispositivo de campo, comprometendo drasticamente a durabilidade.

Quando há poluição na superfície dos isoladores combinada com umidade, a condutividade superficial do mesmo é aumentada, o que pode acarretar no fenômeno de trilhamento elétrico. (WILLIAMS et al, 1999). Com o intuito de avaliar os materiais poliméricos de forma mais rápida e controlada, faz-se o envelhecimento acelerado, onde é simulado uma condição ambiental mais próxima do real: é aplicada alta tensão, poluição e luz ultravioleta no mesmo ensaio. O diferencial é que os ensaios são realizados simulando apenas uma condição de envelhecimento em amostras do equipamento. Sendo assim, o ensaio proposto, avalia o isolador como um todo, mantendo as características que mais se assemelham ao ambiente de campo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será composto de cinco capítulos.

O primeiro capítulo faz uma introdução ao tema abordado, expondo o problema, os objetivos a serem atingidos e a justificativa.

No segundo capítulo é apresentado a revisão bibliográfica sobre redes de distribuição, isoladores, materiais dielétricos e seus fenômenos de degradação, e por fim a explicação teórica dos ensaios realizados no proposto trabalho.

No terceiro capítulo são apresentados os materiais e equipamentos utilizados, a preparação dos isoladores antes de serem avaliados, o desenvolvimento do protótipo e os ensaios secundários.

No quarto capítulo é apresentada a preparação dos isoladores, os resultados do ensaio de envelhecimento, como a condição dos isoladores após passarem pela Roda de Trilhamento e a sua corrente de fuga durante o ensaio. A comparação dos isoladores pré e pós o ensaio de envelhecimento acelerado, utilizando os ensaios de hidrofobicidade, MEV e resistividade superficial.

Por fim, no último capítulo, é apresentada a conclusão a partir dos resultados obtidos e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento do trabalho proposto, é necessária uma contextualização teórica sobre os assuntos a serem abordados a seguir.

2.1 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O sistema elétrico de potência (SEP) tem a função de fornecer a energia elétrica com qualidade a todos os usuários no instante em que ela é solicitada, sendo responsável pela produção, transmissão e distribuição. Por não ser possível o armazenamento de energia o sistema deve ser eficaz o suficiente para controlar a sua produção de energia, e conseguir entregar a produção instantaneamente aos consumidores, considerando a demanda de cada um e as perdas no transporte. (KAGAN, 2010).

No Brasil a geração de energia é predominantemente extraída de fontes de energia hidráulica, a partir de usinas hidrelétricas. Como os centros de produção ficam muito distante dos consumidores é imprescindível a sua interligação utilizando linhas de transmissão, aptas a transportar a energia demandada. Sendo o montante de energia a ser transportada na grandeza de centenas de megawatts é fundamental que seja realizada o transporte em tensões mais elevadas. Dessa forma, após a produção nas usinas, a energia é transformada em tensões elevadas através das subestações elevadoras, e transmitida por longas distância até os centros consumidores, esse processo é chamado de transmissão. (KAGAN, 2010).

Nos centros consumidores a tensão é reduzida através das subestações abaixadoras, que são responsáveis por abaixar o nível de tensão para níveis de tensão de distribuição. As linhas de distribuição são designadas a distribuir a energia elétrica recebida do sistema de transmissão e dividir entre os consumidores. Esse processo é chamado de distribuição. (KAGAN, 2010).

A qualidade no fornecimento da energia elétrica é crucial para o desenvolvimento do setor industrial. Interrupções no fornecimento de energia pode ser provocada pela falta de manutenção preventiva dos dispositivos que compõem o sistema elétrico. (OLESKOVICZ, 2004).

As redes de distribuição que emergem das subestações de energia elétrica podem ser aéreas ou subterrâneas, sendo a primeira a mais comum. (ANEEL, 2018).

Esse sistema é composto por cabos nus sobre isoladores fixos em cruzetas de concreto ou madeira. Sua montagem simples apresenta menor custo de instalação, mas pode ocasionar falhas no fornecimento de energia devido a sua fragilidade ao ambiente onde está instalado. (HOLTZHAUSEN, 2014).

As distribuidoras de energia são avaliadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em três aspectos a qualidade do “produto” energia elétrica, a qualidade do serviço e a qualidade do atendimento ao consumidor. Se esses aspectos não são cumpridos pela distribuidora, a ANEEL aplica multas e sanções sobre as empresas responsáveis pelo serviço prestado. (ANEEL, 2018).

2.2 ISOLADORES

O isolador elétrico é um dispositivo que tem como principal função isolar fios ou cabos energizados, evitando correntes de fuga. Assim sendo, o isolador deve possuir grande capacidade de se opor à passagem de corrente elétrica. Sua função secundária, mas não menos importante, é de suportar esforços mecânicos produzidos pelos condutores. (SARAIVA, 1988).

São constituídos a partir de materiais dielétricos. (MAMEDE, 2005). A partir disso, são divididos em dois grupos principais: isoladores cerâmicos (vidro ou porcelana) e isoladores poliméricos conforme TABELA 1. (BISNATH et al, 2006).

TABELA 1 - COMPARAÇÃO DIFERENTES MATERIAIS DE ISOLADORES

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Polimérico	<ul style="list-style-type: none"> • Peso • Baixo custo de instalação • Resistência ao impacto e contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Distância de arco • Susceptível ao envelhecimento • Susceptível ao arco elétrico • Possíveis fraturas por fragilização
Porcelana	<ul style="list-style-type: none"> • Performance garantida • Longa história de uso 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão do pino • Falhas em cascata nos postes • Defeitos escondidos • Vandalismo
Vidro	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil localização de erros 	<ul style="list-style-type: none"> • Vandalismo

FONTE: Adaptado de GORUR (1999).

2.2.1 Isolador Cerâmico

Os primeiros isoladores de porcelana foram inventados em 1900 pela Hewlett. Em 1920 foram aperfeiçoados pela empresa Locke, adquirindo a sua forma atual. A substituição do material da porcelana para o vidro, como principal componente dos isoladores, ocorreu em 1935, na Inglaterra. Essa mudança possui a vantagem em relação ao empenho termo-mecânico (fadiga ou envelhecimento). (PAVLIK, 1989).

Os isoladores de porcelana são pouco susceptíveis ao envelhecimento. Porém sua tonalidade escura torna difícil a inspeção visual. Outro problema recorrente era o vandalismo: esses equipamentos eram alvos fáceis para esse ato de depredação. (MAMADE, 2005).

Os isoladores de vidro também tiveram problemas com atos de vandalismo (LOOM, 1988). Porém possui baixos custos de produção e várias propriedades físicas e mecânicas que auxiliam no seu desempenho, como (GARCIA, 2003):

- Dilatação térmica baixa
- Viscosidade alta
- Durabilidade alta
- Baixa condutividade elétrica

2.2.2 Isolador Polimérico

O isolador polimérico, o tipo mais recente a ser desenvolvido, surgiu há cerca de três décadas, e possui menor peso ver TABELA 2, menor custo e maior portabilidade mecânica e elétrica quando comparado com o de porcelana e o de vidro. (MAMEDE, 2005).

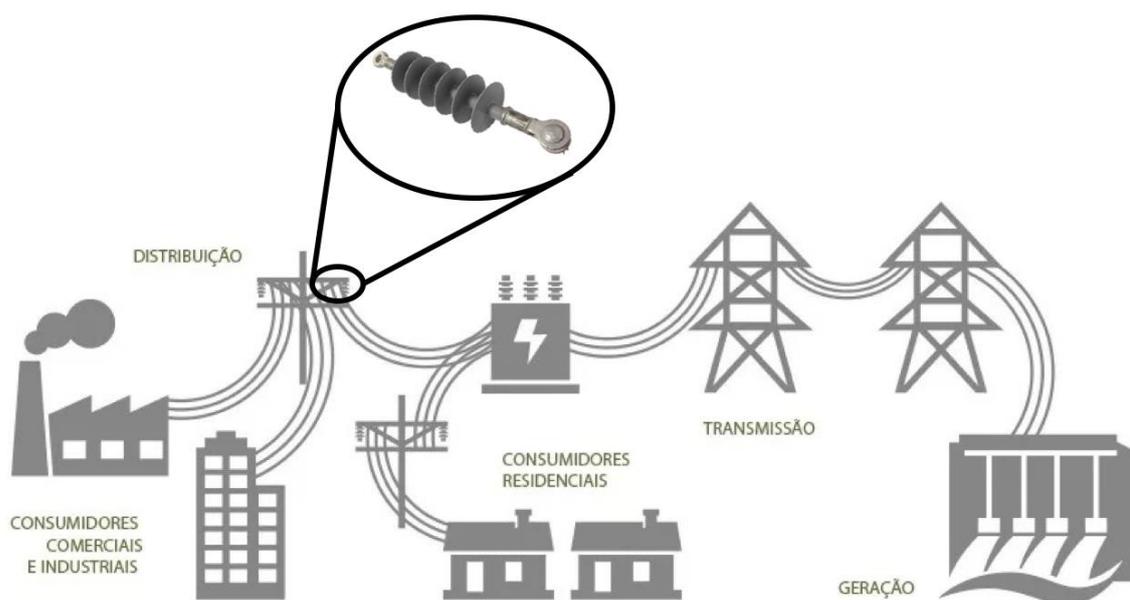
TABELA 2 - COMPARAÇÃO DO PESO DE ISOLADOR POLIMÉRICO E CERÂMICO DE DISTRIBUIÇÃO.

Equipamento	Tensão (kV)	Peso Porcelana (kg)	Peso Polimérico (kg)	Redução do Peso (%)
Isolador	15	4,3	1,1	74,77

FONTE: (GORUR, 1999).

Possuem duas principais características: alto grau de repulsão à água e grande resistência ao processo de degradação. Essas duas características estão interligadas, dado que quanto maior a degradação do isolador, menor a quantidade de água que o mesmo irá repelir. (EL-HAG, 2010). No SEP, o isolador polimérico pode ser encontrado nos postes de redes de distribuição (MAMEDE, 2005), como mostra a FIGURA 1.

FIGURA 1 - ISOLADOR POLIMÉRICO NO SEP



FONTE: ENERGYPRO (2018).

Contudo, ainda existe algumas dificuldades em relação a esses isoladores, como a de avaliar o tempo de vida, detecção de falhas e confiabilidade a longo prazo. Outro desafio é que sua degradação ocorre por trilhamento elétrico e erosão, o que pode ocasionar a falha. (HACKAM, 1999).

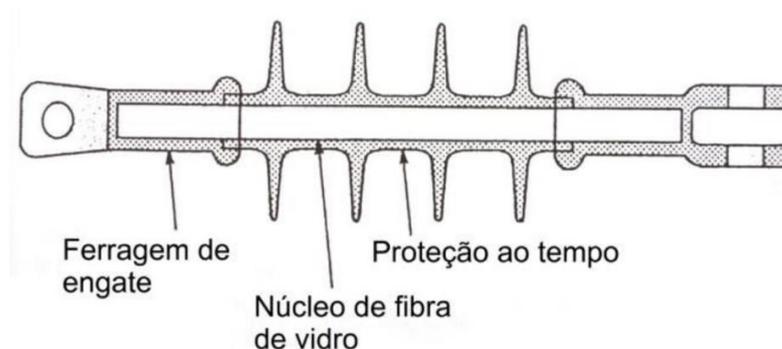
Os isoladores poliméricos possuem três principais componentes, ver FIGURA 2 (BISNATH et al, 2006):

- Núcleo de fibra de vidro: desempenha a função mecânica do isolador, suporta uma tensão elétrica alta, porém não possui muita resistência para compressão e torção.
- Proteção ao tempo: o núcleo de fibra de vidro perde suas características isolantes e até mecânicas quando exposto a umidade e poluição, por isso ele é coberto por um polímero que o protege da

agressividade intemperismo ambiental. O material polimérico é geralmente feito de Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE) e a borracha de silicone (SR).

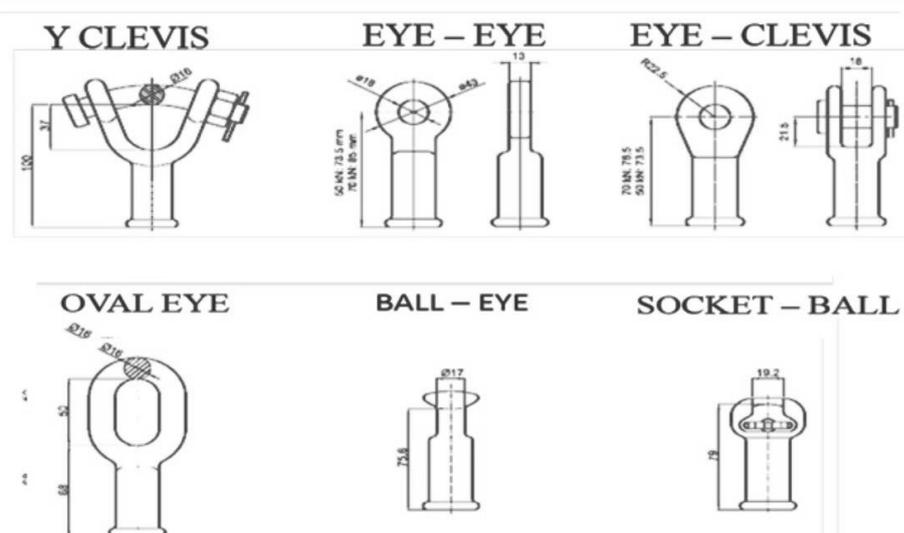
- Ferragem de engate: existe diferentes tipos de ferragem de engate de acordo com a aplicação. Suas dimensões especificadas de acordo com os padrões da IEC ou ANSI. Os tipos podem ser Y-Clevis, Eye-Eye, Eye-Clevis, Oval Eye, Ball-Eye ou Socket-Ball, como mostra a FIGURA 3.

FIGURA 2 - VISTA EM CORTE DO ISOLADOR POLIMÉRICO



FONTE: GORUR (1999).

FIGURA 3 - TIPOS DE FERRAGEM DE ENGATE

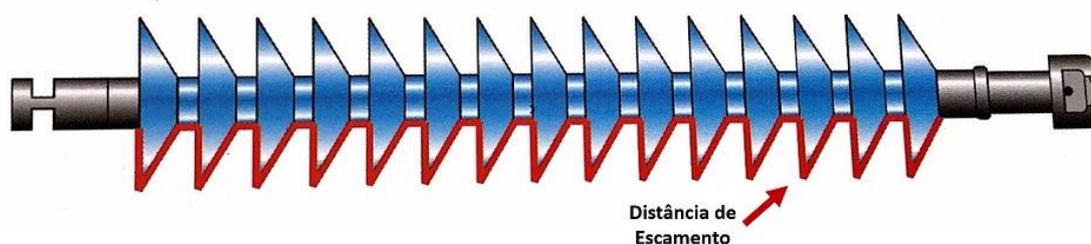


FONTE: MELCO (2018).

Nesses isoladores, a distância de escoamento é definida pelo menor caminho na superfície do isolador entre as ferragens de engate, como mostra a FIGURA 4.

(BISNATH et al, 2006). Esse parâmetro é relevante, pois segundo a NBR IEC 60815, os isoladores devem ser dimensionados de acordo com o nível de poluição do local em que serão utilizados.

FIGURA 4 - DISTÂNCIA DE ESCOAMENTO



FONTE: BISNATH (2006)

2.3 MATERIAIS DIELÉTRICOS

Todos os circuitos elétricos utilizam isolamento, cuja função é de ser não-condutivo. Assim, materiais elétricos isolantes devem ter as características mostradas na TABELA 3:

TABELA 3 – CARACTERISTICA MATERIAIS ISOLANTES

Característica	Circuito	Fórmula
Alta resistência para a passagem de corrente	Elétrico	$I = \frac{E}{R}$ (1)
Alta resistência para ao estressamento elétrico	Dielétrico	$\psi = \frac{V}{S}$ (2)
Ótima propriedade de condução de calor	Magnético	$\phi = \frac{F}{\mathfrak{R}}$ (3)

FONTE: GILL (2008).

Onde:

- F é a força magnética [N]
- R é a resistência elétrica [Ω]
- S é a resistência dielétrica [Ω]
- \mathfrak{R} é a resistência magnética (relutância) [A.esp/Wb]
- I é a corrente no circuito elétrico [A]

- ψ é o fluxo elétrico no circuito dielétrico [A]
- ϕ é o fluxo magnético no circuito dielétrico [Wb]

A partir das equações (1), (2) e (3), pode-se obter as fórmulas para a resistência elétrica, dielétrica e magnética, que são relativamente similares:

$$R = \rho \left(\frac{L}{A} \right) \quad (4)$$

$$S = \left(\frac{1}{e_r} \right) \left(\frac{L}{A} \right) \quad (5)$$

$$\mathfrak{R} = \left(\frac{1}{u_s} \right) \left(\frac{L}{A} \right) \quad (6)$$

Onde:

- ρ é a resistividade [$\Omega \cdot m$]
- e_r é a capacidade relativa (constante dielétrica)
- u_r é a permeabilidade relativa

Apesar desses circuitos serem análogos, eles se diferenciam na prática. (GILL, 2008).

Materiais dielétricos são utilizados em diferentes equipamentos elétricos em diversas aplicações. A degradação térmica é um fator importante que afeta a vida útil do isolamento, embora a umidade, contaminação, estresse de tensão e outros fatores também possam contribuir para sua degradação. As características elétricas importantes do isolamento são a resistividade volumétrica, capacitância, constante dielétrica e rigidez dielétrica. Essas características, exceto a rigidez dielétrica, podem ser avaliadas por testes não destrutivos. (GILL, 2008).

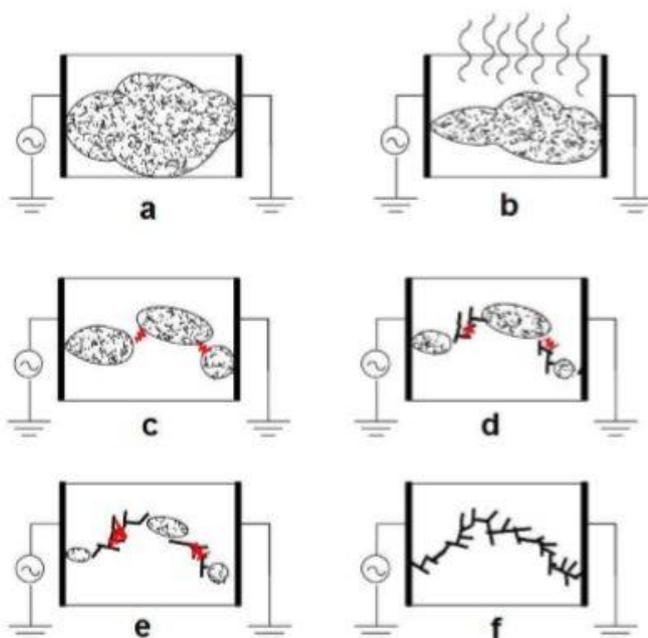
2.3.1 Trilhamento Elétrico.

O trilhamento elétrico pode ser definido como a formação de um caminho condutor permanente, formado na maioria dos casos por compostos de carbono, na superfície do isolante, estes compostos alocados na superfície fazem com que a resistividade superficial do isolante diminua significativamente fazendo com o material isolante se torne um material condutor. Com a presença de corrente no material o processo de degradação da superfície é acelerado. (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2000).

Uma das formas de ocorrer o trilhamento elétrico é através da contaminação superficial de elementos, como poluentes industriais, umidade, sal, entre outros, que favorecem o surgimento de corrente que fluem entre pontos de diferentes potenciais. Estas correntes causam evaporação formando bandas secas surgindo assim campos elétricos não homogêneos, desta forma o material fica sujeito a descargas superficiais que carbonizam o mesmo e facilitam o surgimento das trilhas elétricas. (DOI, 1987).

Este processo de umidificação, evaporação e posterior degradação da superfície do material, até o surgimento de trilhas condutoras foi apresentado por MALIK,1998 e pode ser ilustrado na FIGURA 5 a seguir:

FIGURA 5 – PROCESSO DE TRILHAMENTO ELÉTRICO



FONTE: MALIK (1998).

Este fenômeno possui maior ocorrência nos pontos de amarração do isolador com o cabo. Outro fator que pode influenciar e acelerar o trilhamento elétrico e a erosão é a compatibilidade dielétrica, ou seja, a concentração de campo elétrico resultado de diferentes isolantes empregados em um conjunto no isolador. (XIDONG, 1999), (YOSHIMURA, 1997).

2.4 FENÔMENOS DE DEGRADAÇÃO DE MATERIAIS DIELÉTRICOS

Falhas ocorridas em linhas de distribuição, principalmente em isoladores, aumentaram com a expansão das linhas. O isolador, quando é instalado, possui inicialmente um material isolante, porém com a sua utilização e exposição a intemperismos ambientais, ele perde com o tempo essa característica. (WILLIAMS et al,1999). A definição de envelhecimento ou degradação de um polímero é causado por um processo físico e/ou químico produzido pelo contato do material com o meio. (FELDMAN, 1989).

2.4.1 Radiação UV

A iluminação solar é muito importante para manter a vida na terra, fornecendo energia luminosa e térmica. (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003). Do Sol cerca de 7% do total da radiação por ele emitida é radiação ultravioleta (Liou, 1980). Seu espectro eletromagnético de comprimento de onda varia entre 100nm a 400nm dividida em três faixas U-VA, U-VB e U-VC, onde a primeira faixa atua com comprimento de 315nm a 400nm sendo absorvida em pequena quantidade pela atmosfera, atingindo com maior intensidade a face da terra. A faixa de 280nm a 315nm tem maior absorção pela camada de ozônio e chega com pequena quantidade na face da terra, e por último a U-VC que está na faixa de 100 nm a 280 nm, e é totalmente absorvida pelos gases atmosféricos. (OKUNO, 2005).

A emissão de UV influencia em um número grande de reações fotoquímicas que ocorre na atmosfera terrestre. Ao atingir a terra, a radiação UV provoca diferentes efeitos sobre os materiais inorgânicos e seres vivos, as alterações causadas pela excessiva exposição podem provocar a deterioração de materiais polímeros (ANDRADV, 2003), assim como causa efeitos nocivos aos seres humanos, tais como queimaduras e envelhecimento precoce. (DIFFEY, 1991).

Os materiais poliméricos passam por deteriorações quando expostos à radiação solar, principalmente a ultravioleta (UV). O que ocorre é reações químicas que podem diminuir suas características iniciais. (RABELLO, 1997).

O polipropileno e o polietileno, quando expostos à luz do sol, tem sua vida útil afetada significativamente. Sua sensibilidade é ainda mais forte no espectro ultravioleta (UV). Por exemplo, sob ação da radiação UV, o polietileno sofre efeitos da

degradação fotoquímica, que causa descoloração do material e surgimento de trincas superficiais. (BRYDSON, 1999).

2.4.2 Envelhecimento de Polímeros a reação Ultravioleta

Os materiais poliméricos têm sido muito utilizados em sistemas elétricos devido a suas características isolantes e mecânicas. O seu uso em ambientes externos submetidos a algum tipo de estresse, acabam reduzindo a vida útil do mesmo, devido a este fato, muitos estudos são exigidos para compreender os causadores dessa redução a fim de aumentar a vida útil desses materiais. (GULMINE, 1999).

Um dos principais agentes que causam a redução da vida útil dos polímeros é a radiação solar, sua incidência aumenta a taxa de oxidação do material e com acréscimo de outros poluentes acaba intensificando a taxa. (RODRIGUES, 2007).

A radiação solar possuiu todos os comprimentos de ondas, cerca de 7% dela é radiação UV (ultravioleta). A equação (7) demonstra a relação entre a quantidade de energia e a frequência, associada ao comprimento de onda de forma inversa de uma onda eletromagnética.

$$e = h_p \cdot f = \frac{h_p}{\lambda} \cdot c \quad (7)$$

Onde h_p é a constante de Planck c é a velocidade da onda eletromagnética no meio inserido, f a frequência da onda e λ é o comprimento de onda. Ao analisar a equação (1) é possível concluir que quanto maior for a frequência da onda, maior será sua energia transportada. Isso quer dizer que a radiação UV estimula reações químicas da estrutura molecular da matéria e os polímeros sofrem o envelhecimento devido a este fenômeno. (RODRIGUES, 2007).

Uma das formas de retardar o envelhecimento dos polímeros é inserindo elementos anti UV, compostos orgânicos que protegem o material, funcionando como agentes de ocultação que absorvem o UV convertendo a radiação em calor. (CRQ-SP, 2013).

2.4.3 Poluição

O Material polimérico isolante tem sua suportabilidade dielétrica reduzida quando exposto às condições climáticas como chuva ou alta umidade. Essa redução pode ser ainda mais afetada quando exposto em uma atmosfera poluída. Designa-se como “atmosfera poluída” do ponto de vista elétrico, o ambiente que proporciona a deposição de matéria sobre a superfície do isolador, sendo que esse material, quando dissolvido em água, produz uma solução condutora. (MELO,2003).

A poluição é definida pela norma IEC TS 60.815-1 pelos tipos A e tipo B:

- Tipo A: é uma poluição sólida não solúvel depositada sobre os isoladores, e que na presença da umidade se torna condutiva, podendo ser avaliado pela condutividade superficial. Geralmente é provocado por meios industriais que se dissolvem lentamente, como cimento e gesso. (ABNT, 2014).
- Tipo B: depósito de eletrólitos líquidos sobre o isolador com pouco material solúvel ou nenhum componente solúvel. Podendo ser medido pela medição de condutância ou pela corrente de fuga. Esse tipo de poluição é encontrado em áreas costeiras, onde é depositada sobre os isoladores devido ao spray, vento e nevoa. Também pode ser encontrada em áreas industriais, provocado pela nevoa química e chuva ácida. Essas regiões podem emitir partículas condutivas como fases dissolvidos NOx, SOx. (ABNT, 2014).

2.5 ENSAIOS

2.5.1 Roda de Trilhamento

A norma ABNT 16.326 descreve os métodos para o ensaio da roda de trilhamento, que visa avaliar a qualidade de isoladores poliméricos. Nele pode-se utilizar dois ou quatro isoladores ao mesmo tempo. As amostras devem ter uma distância de escoamento entre 500mm e 800mm e completamente equipadas com as ferragens de engate. (ABNT, 2014).

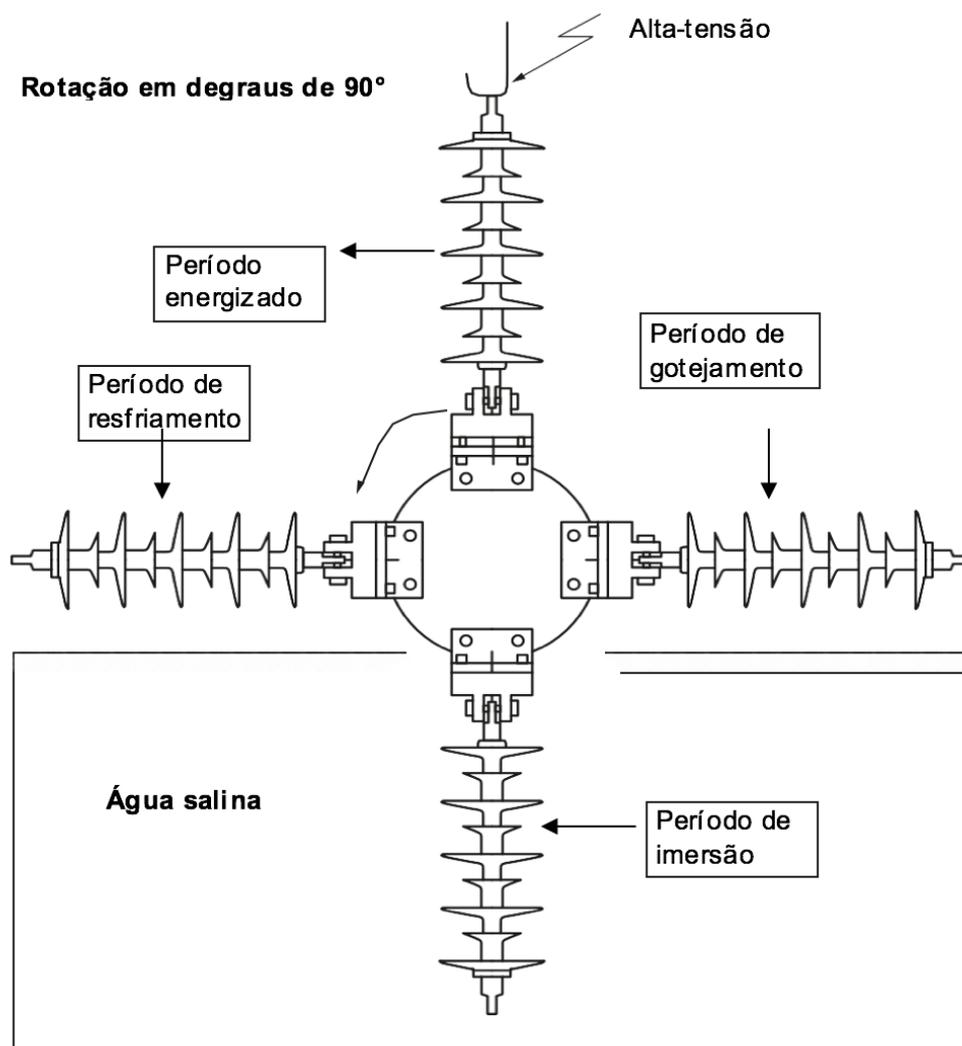
A preparação do ensaio inicia-se limpando os isoladores com água deionizada, após isso, elas devem ser montadas na roda de trilhamento como mostrado na

FIGURA 6. A roda possui quatro posições diferentes uma para cada amostra, as quais são separadas por uma distância de 90°. Durante o ciclo cada isolador passa pelos 4 estágios, permanecendo durante 40 s em cada um, com um tempo de 8 s de transição entre posições, intercalando entre os quatro passos até chegar num total de 30.000 ciclos. (ABNT, 2014). Os períodos estão descritos a seguir:

- Período submerso: o isolador fica submerso em uma solução de salinidade alta, onde o teor de NaCl em água deionizada é de $1,40 \text{ kg/m}^3 \pm 0,06 \text{ kg/m}^3$.
- Período de gotejamento: o isolador perde o excesso de solução salina ficando levemente umedecido. Isso permite que ocorra descargas elétricas por meio das bandas secas formadas na terceira parte do ciclo.
- Período energizado: o isolador é energizado. A tensão aplicada é da frequência da rede, em quilovolts, e o seu valor é determinado dividindo a distância de escoamento em mm por 28,6. Nessa etapa o isolador é aquecido devido as descargas elétricas nas bandas seca.
- Período de arrefecimento: o isolador é resfriado à temperatura ambiente.

A norma define que as condições para realização do ensaio, a solução salina deve ser trocada semanalmente, o tempo máximo de parada o ensaio não deve ser maior que uma hora. O ensaio deve estar a temperatura do ambiente na faixa $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. (ABNT, 2014).

FIGURA 6 - ARRANJO DE ENSAIO DA RODA DE TRILHAMENTO



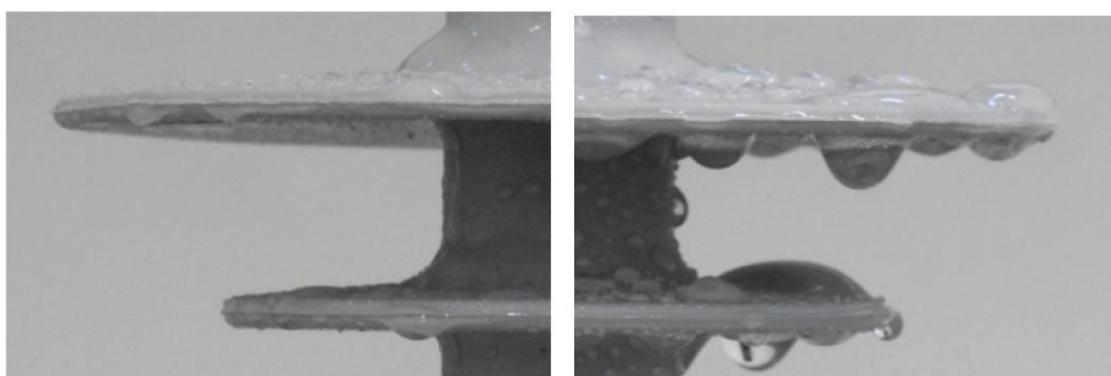
FONTE: ABNT (2014).

2.5.2 Hidrofobicidade

O material isolante tem uma relação forte com a sua molhabilidade. A forte ligação eletrostática do silicone e do oxigênio, nos isoladores de porcelana e de vidro, faz com que a água tenha uma forte aderência com a sua superfície. Por outro lado, os polímeros têm uma fraca ligação no nível molecular, o que os torna menos susceptíveis a formação de água na sua superfície. (GORUR,1999).

Um material pode ser classificado em diferentes níveis de hidrofobicidade, sendo que, quanto mais hidrofóbico, mais repelente será sua superfície à água, ver FIGURA 7. Dentre os fatores que influenciam essa propriedade nos isoladores, os mais importantes são o tipo de material, rugosidade superficial, heterogeneidade da superfície, composição química e presença de poluição. Portanto o resultado da medição da molhabilidade pode ser influenciado pelas condições ambientais e pela alta tensão. (ABNT, 2010).

FIGURA 7 - HIDROFOBICIDADE NO ISOLADOR



a) menos hidrofóbico

b) mais hidrofóbico

FONTE: Os Autores (2018).

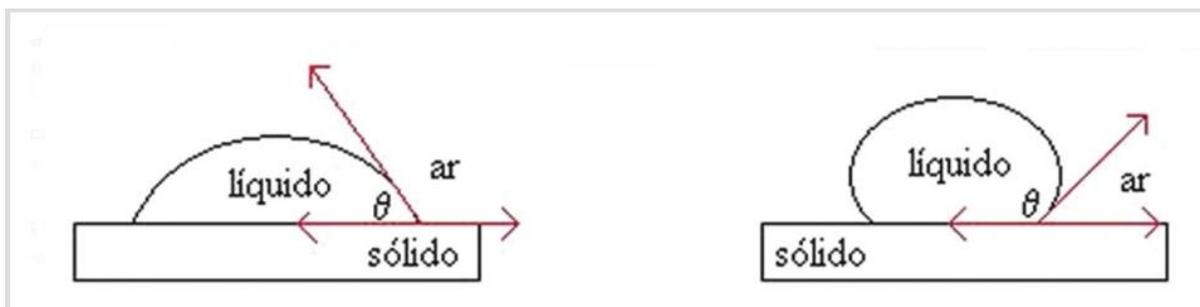
Afim de avaliar a hidrofobicidade em isoladores, a ABNT possui a especificação técnica IEC/TS 62073 de 2010, Guia da medição da hidrofobicidade nas superfícies de isoladores. Nessa norma é possível avaliar os isoladores utilizando três técnicas diferentes:

- Método do ângulo de contato: é avaliado o ângulo de contato θ formado entre a extremidade de uma gota de água com a superfície horizontal do material. A superfície é considerada hidrofóbica para $\theta > 80^\circ$, intermediária para ângulos entre $10^\circ > \theta > 80^\circ$ e hidrofílica (molhável) para $\theta < 10^\circ$, conforme ilustrado na FIGURA 8.
- Método da tensão superficial: é feito o gotejamento de uma série de misturas líquidas orgânicas, aumentando gradualmente a tensão orgânica e avaliando seu escoamento.
- Método do pulverizador: a superfície é exposta a uma fina névoa de água por um curto período e tirada fotos. As gotas são comparadas

posteriormente com as CM (Classes de Molhabilidade) que vão de 1 a 7. Onde 1 é mais hidrofóbico e 7 é menos hidrofóbico. Ver

-
- FIGURA 9 e FIGURA 10.

FIGURA 8 - MÉTODO DO ÂNGULO DE CONTATO



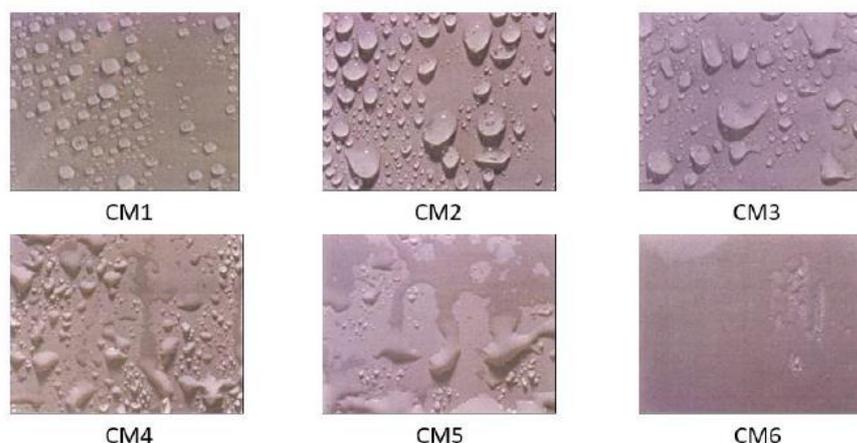
FONTE: QNINT (2018).

FIGURA 9 - CRITÉRIOS DE DETERMINAÇÃO DA CLASSE DE MOLHABILIDADE (CM)

CM	Descrição
1	Apenas gotas discretas são formadas. Sua forma, quando observadas perpendicularmente à superfície, é praticamente circular. Corresponde a um valor de $\theta_r = 80^\circ$ para as gotas.
2	Apenas gotas discretas são formadas. A maior parte da superfície é coberta por gotas com a forma, quando observadas perpendicularmente à superfície, ainda regular, mas com desvios da forma circular. Corresponde a $50^\circ < \theta_r < 80^\circ$ para a maior parte das gotas.
3	Somente gotas discretas são formadas. A maior parte da superfície é coberta por gotas com forma irregular. Corresponde a $20^\circ < \theta_r < 50^\circ$ para a maior parte das gotas.
4	Tanto gotas discretas quanto traços de molhabilidade para fios ou filmes de água são observadas (ou seja, $\theta_r = 0^\circ$ para algumas gotas). Menos do que 10 % da área observada é coberta por regatos ou filmes de água.
5	Tanto gotas discretas quanto traços de molhabilidade a partir de fios ou filmes de água são observados (ou seja, $\theta_r = 0^\circ$ para algumas gotas). Mais do que 10 %, mas menos de 90 % da área observada é coberta por fios ou filmes de água.
6	Mais do que 90 % mas menos de 10 % da área observada é coberta por fios ou filmes de água (ou seja, pequenas áreas/marcas/traços não molhados são ainda observados).
7	Filmes contínuos de água são formados sobre toda a área observada.

FONTE: ABNT (2010).

FIGURA 10 - EXEMPLOS TÍPICOS COM CM.



FONTE: ABNT (2010).

2.5.3 Resistividade Superficial

Com o acúmulo de poeiras e umidade na superfície de isoladores, ocorre a formação de um novo caminho para a passagem da corrente elétrica. Isso ocorre principalmente em peças expostas ao tempo, como isoladores de linhas aéreas. A resistência total do circuito, pode ser calculada fazendo o paralelo entre a resistência superficial com a resistência de massa. Porém, quando o material é isolante, a resistência de massa se torna desprezível, sendo necessário calcular apenas a resistência superficial. (BRANDÃO, 2003)

Existem vários métodos que podem ser usados para calcular e determinar a resistividade elétrica em sólidos. Um deles é o Método do Eletrômetro, que é padronizado pela ASTM. (GIROTTO e SANTOS, 2002).

Esse método é utilizado quando o material a ser analisado possui uma altíssima resistência elétrica (acima de $10^9 \Omega$). Conseqüentemente a detecção de corrente precisa ser muito precisa, pois, os níveis serão muito baixos. Primeiramente é recomendado que as medidas sejam feitas dentro de uma Gaiola de Faraday e em ambiente seco, pois a blindagem, interferência, ruídos e umidade influenciam muito no resultado. Depois uma fonte de tensão DC deve ser conectada nas duas pontas do sólido e a corrente que passa pelo mesmo deve ser medida. A partir da equação 8 é possível calcular a resistividade de superfície ρ_s . (ASTM, D257-99):

$$\rho_s = \frac{A \cdot V}{L \cdot i} \quad (8)$$

Onde:

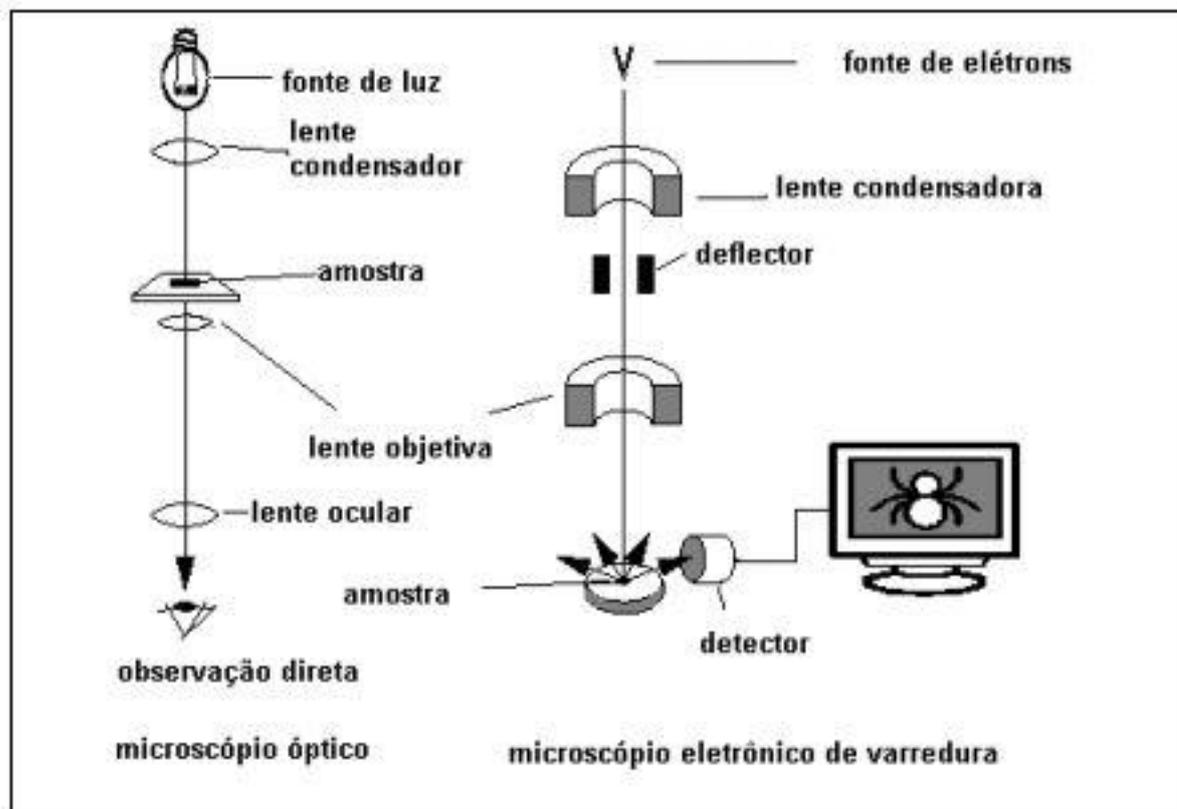
- *A*: área [m^2]
- *L*: comprimento [m]
- *V*: tensão aplicada [V]
- *i*: corrente medida [A]

2.5.4 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

Um microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um instrumento muito utilizado para análises em materiais que exigem uma alta resolução. Diferente do microscópio óptico em que sua resolução é limitada pelos efeitos de difração devido ao comprimento de onda da radiação incidente, o MEV utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons. (DEDAVID, 2007).

Seu princípio de funcionamento é a emissão de um feixe de elétrons concentrado e apontado por um sistema de lentes eletromagnéticas. O feixe, então, incide sobre a amostra dando início ao processo de emissão de sinais. Isso é correspondente à interação dos elétrons com a superfície os quais são então capturados por um detector, amplificados e processados por um sistema apropriado. (MALISKA,2010). A FIGURA 11 ilustra um esquemático para comparação entre o microscópio óptico com o MEV e seu princípio de funcionamento.

FIGURA 11 - DESENHO ESQUEMÁTICO PARA COMPARAÇÃO ENTRE MICROSCÓPIO ÓPTICO E MEV.



FONTE: DEDAVID (2007).

O MEV se tornou um instrumento de grande importância em diversas áreas como na eletrônica, geologia, ciência e engenharia dos materiais. O desenvolvimento de novos materiais exige informações detalhadas das características microestruturais que é obtido através do MEV o que ressalta sua importância, podendo fornecer informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. (MALISKA,2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo será apresentado os materiais utilizados para execução desse projeto, bem como os ensaios realizados nos isoladores afim de avaliar sua performance antes durante e depois da roda de trilhamento, abordando os ensaios de roda de trilhamento, hidrofobicidade, MEV e resistência superficial.

Para que se fosse possível a realização desse trabalho, foi utilizando as instalações dos Institutos Lactec.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Isoladores

No presente trabalho, foram utilizados 8 isoladores de ancoragem poliméricos, com classe de tensão de 15 kV e resistência mecânica de 50 kN, como mostra a TABELA 4.

TABELA 4 - ISOLADORES UTILIZADOS

Isolador	1 e 2	3 e 4	5, 6, 7 e 8
Foto			
Fabricante	A	B	C

FONTE: Os autores (2018).

3.1.2 Ensaios

Nesse tópico, será listado os equipamentos utilizados em todo o projeto. Para facilitar o entendimento, foram feitas uma tabela para cada ensaio.

Os equipamentos que foram usados no Ensaio de Roda de Trilhamento estão listados na TABELA 5:

TABELA 5 - EQUIPAMENTOS DO ENSAIO DE RODA DE TRILHAMENTO

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS	
RODA DE TRILHAMENTO	
Equipamentos	Marca/Modelo
DAC	National Instruments - NI cDAC 9174
Painel de Controle	Os autores
Circuito de Acoplamento Óptico	Padrão LACTEC
Motor de Indução	WEG - W22 0,18kW
Lâmpada UV	OSRAM - E27
Medidor de Intensidade UV	Calibrate Q-U-V CR10
Bomba de Água	Leocono APm37L
Filtro de Água	Não consta
Transformador de Potência	HITACHI – TP 69kV
Variador de Tensão	Sem marca
Ponta de Prova	Tektronix - P6015A
Capacitor	CONDIS CDCT 0888B13
Conduvímetero	DM-31
Computador	Dell - Optiplex 3040
Voltímetros	Unit-T - Optical RS232
Paquímetro	Mitutoyo - 500-196-30B
LabVIEW	Versão 2017

FONTE: Os autores (2018).

Os equipamentos que foram usados no Ensaio de Hidrofobicidade estão listados na TABELA 6:

TABELA 6 - EQUIPAMENTOS DO ENSAIO DE HIDROFOBICIDADE

ENSAIO DE HIDROFOBICIDADE
Equipamentos
Pulverizador de Pressão
Câmera Fotográfica Digital
Água Deionizada
Cronômetro Digital

FONTE: Os autores (2018).

Os equipamentos que foram usados no Ensaio de Resistividade Superficial estão listados na TABELA 7 :

TABELA 7 - EQUIPAMENTOS DO ENSAIO DE RESISTIVIDADE SUPERFICIAL

ENSAIO DE RESISTIVIDADE SUPERFICIAL	
Equipamentos	Marca/Modelo
Gaiola de Faraday	Desenvolvido no Lactec
Medidor de Resistência	Agilent 4339B
Termo-Higrômetro	Data Logger Klimalogg Pro

FONTE: Os autores (2018).

E por fim, os equipamentos que foram usados no Ensaio de MEV estão listados na TABELA 8:

TABELA 8 – EQUIPAMENTOS DO ENSAIO DE MEV

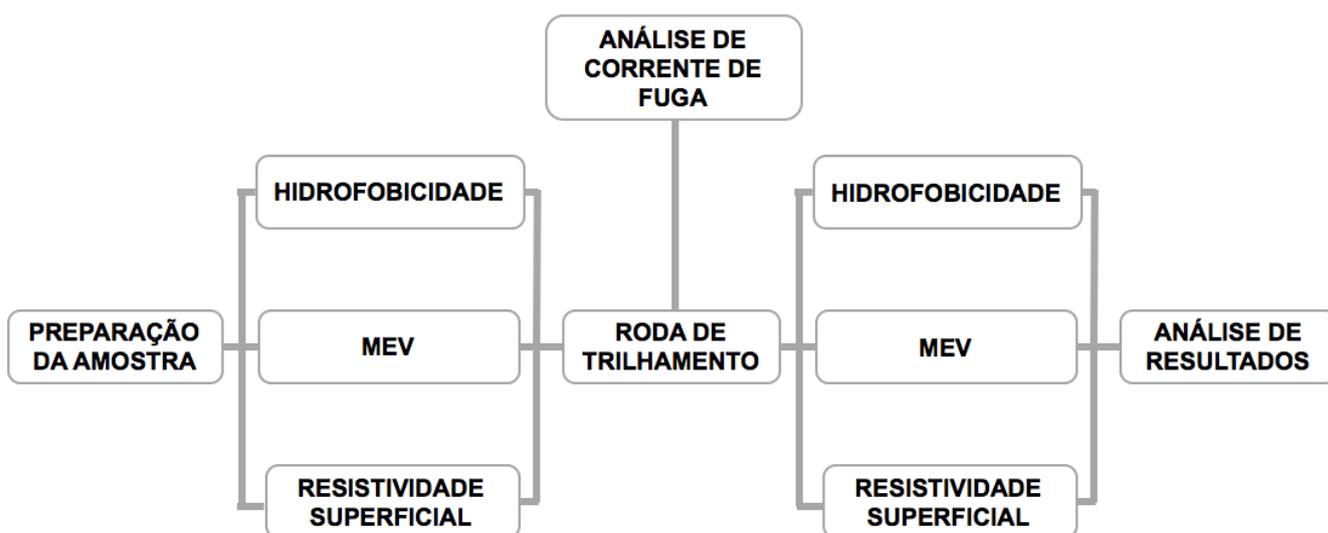
ENSAIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	
Equipamentos	Marca/Modelo
Microscópio Eletrônico de Varredura	Tescan - VEGA 3
Detector de Energia Dispersiva de Raios X	Oxford Instruments

FONTE: Os autores (2018).

3.2 MÉTODOS

A metodologia do trabalho seguiu o fluxograma apresentado na FIGURA 12, onde apresenta as etapas da metodologia desenvolvida para análise do protótipo de ensaio desenvolvido.

FIGURA 12 - FLUXOGRAMA DO PROJETO



FONTE: Os autores (2018).

A seguir serão apresentados os processos individualmente de cada item do fluxograma:

- Preparação da amostra: Nesta etapa foi realizado a análise dos aspectos visuais dos isoladores ensaiados, realizando as medidas e verificações da estrutura das amostras;
- Ensaio pré-envelhecimento: São realizados os ensaios para verificação das características dielétricas dos isoladores, antes de serem expostos ao ensaio de envelhecimento na roda de trilhamento;
- Ensaio de roda de trilhamento: Exposição dos isoladores ao ensaio modificado de envelhecimento pela roda de trilhamento, coletando os valores da corrente de fuga a todo ciclo;
- Ensaio de pós-envelhecimento: São realizados os ensaios para verificação das características dielétricas dos materiais após do ensaio de roda de trilhamento;

- Análise de resultados: Análise dos dados coletados durante todos os passos do ensaio, avaliando as características e desempenho dos isoladores.

3.2.1 Preparação das amostras

Antes da realização dos ensaios, a preparação das amostras ocorreu da seguinte maneira:

- Recebimento dos isoladores. O material pode ser enviado pelo fornecedor, ou pela concessionária a fim de avaliar o componente dielétrico a ser recebido pelos fornecedores.
- Limpar as amostras com água deionizada e álcool isopropílico, para remover as impurezas superficiais.
- Numerar e identificar com etiqueta cada amostra.
- Análise visual dos isoladores, atentando-se as informações de marcas, modelo, classe de tensão e resistência mecânica.
- Verificação de conformidades geométricas dos isoladores conforme o desenho. Segundo a norma ABNT NBR 16.326:2014 quando o isolador tem dimensional menor que 300 mm a tolerância de desenho é $\pm (0,04 \times d + 1,5)$ mm, e para isoladores maiores que 300 mm a tolerância aplicável $\pm (0,025 \times d + 6)$ mm, com tolerância máxima de 50 mm.
- Realizar a documentação fotográfica, capturando imagem das duas faces da amostra.
- Nesta etapa é realizada a medida da distância de escoamento, para isso foi utilizando uma fita adesiva a base de papel, fixando-se em toda a geometria do material dielétrico, entre a ferragem de engate superior e inferior, conforme a FIGURA 4 do capítulo Isolador Polimérico.

3.2.2 Ensaio Modificado de Roda de Trilhamento

O protótipo proposto é baseado na norma ABNT NBR 16.326:2014 – Roda de Trilhamento, porém com algumas adaptações. Com isso foi possível otimizar a

simulação do envelhecimento acelerado e a avaliação do comportamento dos isoladores.

A primeira modificação é que as duas rodas de trilhamento foram projetadas na mesma estrutura, funcionando simultaneamente. Em uma delas foi adicionado uma lâmpada de radiação UV no período de gotejamento, ver FIGURA 13. As amostras de número ímpar foram colocadas na roda de trilhamento esquerda e as amostras de número par foram colocadas na roda de trilhamento direita, que possui aplicação de radiação UV. Sendo assim, é possível fazer um comparativo dos isoladores frente a suportabilidade do envelhecimento acelerado.

A segunda modificação, é que foi adicionada uma bomba de água com um filtro para facilitar a troca da água. De acordo com a norma, a solução salina deve ser trocada semanalmente, com essa aplicação, esse trabalho não é mais necessário.

FIGURA 13 - ENSAIO MODIFICADO DE RODA DE TRILHAMENTO



FONTE: Os autores (2018).

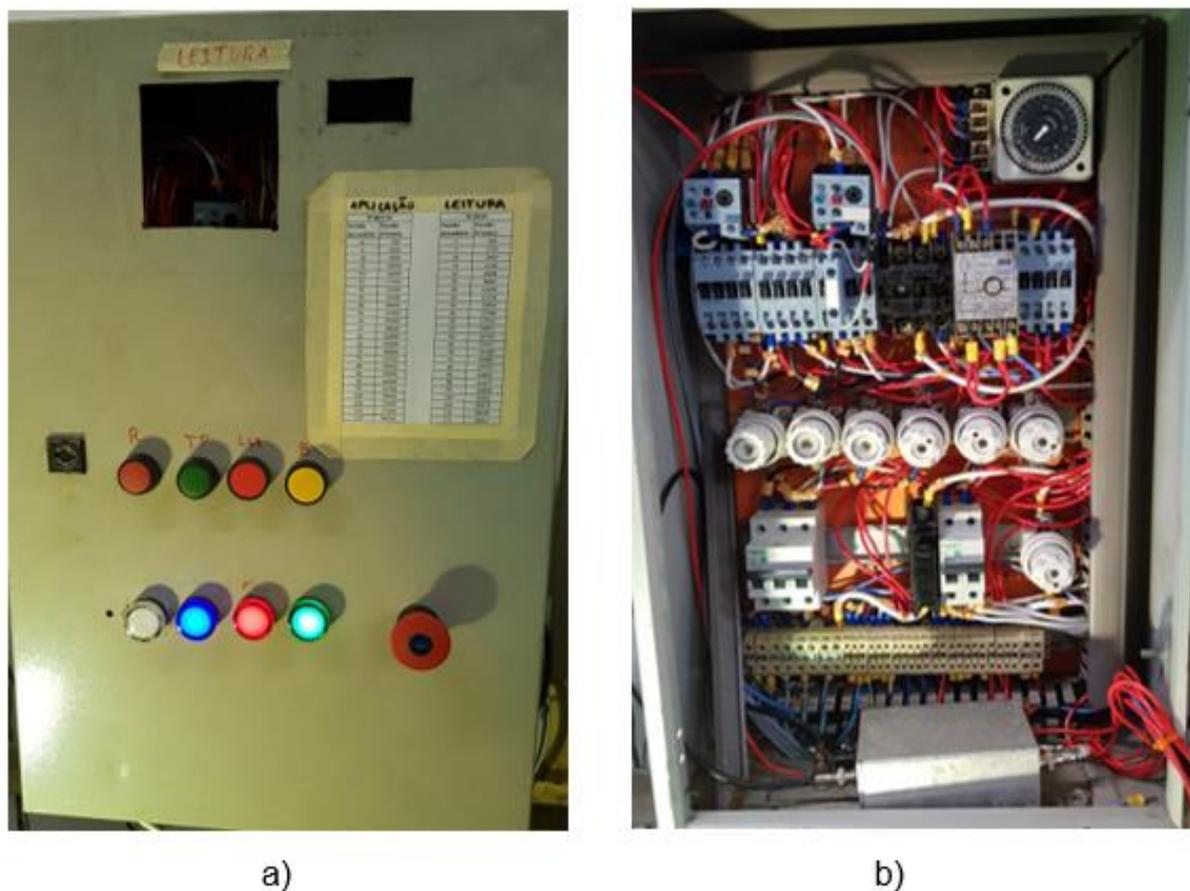
Nos Institutos Lactec já existia um ensaio de Roda de Trilhamento. Foram realizadas adaptações e melhorias, além de alguns materiais do ensaio antigo para a

construção desse novo protótipo, como a estrutura de metal, o suporte dos isoladores do lado direito e o motor.

Para realizar o comando da roda de trilhamento, foi construído um painel de automação apresentado na FIGURA 14. Ele é responsável pelo acionamento dos sistemas de rotação da roda de trilhamento, tempo de ciclo, acionamento da bomba de recirculação da água, acionamento da lâmpada UV e controle da tensão aplicada aos isoladores (APÊNDICE A – diagrama elétrico do painel de controle). Abaixo listados os componentes utilizados:

- Disjuntor de entrada: Dispositivo de segurança que interrompe a passagem de corrente elétrica, quando a corrente que circula por ele é maior do que o limite permitido pelo disjuntor. Esse disjuntor protege contra curtos-circuitos e sobre carga de energia.
- Fusível Diazed: Dispositivo de proteção do motor que interrompe o circuito caso haja uma anomalia nos motores como curto circuito. Esse fusível é do tipo retardado pois o circuito de partida atinge valores superiores ao da corrente nominal na partida do motor.
- Contatoras: Dispositivo eletromecânico responsável por partir o circuito de comando, ele é responsável por fazer a partida do motor de rotação da roda e do motor da bomba de recirculação.
- Relé Térmico: Responsável por realizar a proteção dos motores elétricos protegendo de anomalias como sobreaquecimento, travamento do eixo e falta de fase.
- Relé Temporizador: Realiza o chaveamento do circuito a partir do tempo pré-estabelecido, utilizado para controlar o tempo de ciclo da rotação da roda, e a temporização do sistema de recirculação.
- Botoeira de comando: dispositivos de comandos com a funcionalidade de realizar o comando do circuito manualmente sem a necessidade de operar os componentes instalados na parte interna do painel, protegendo o operador.
- Sinaleiros: Utilizado para sinalizar o funcionamento do ensaio, sinaliza que os motores de rotação, circulação da bomba e energização estão acionados.
- Botoeira de Emergência: Sistema de parada do equipamento em caso de emergência, desabilitando o comando do dispositivo.

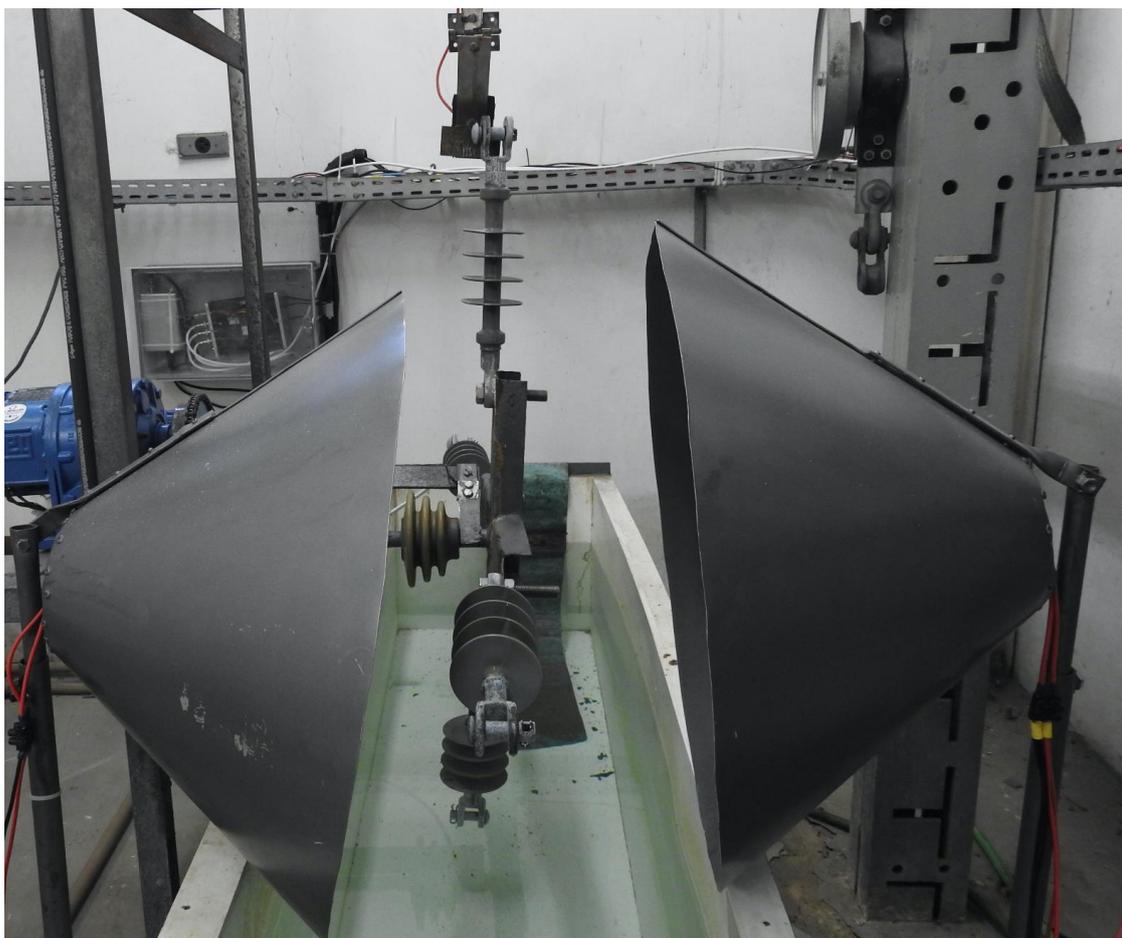
FIGURA 14 - PAINEL DE CONTROLE A) VISÃO EXTERNA B) VISÃO INTERNA



FONTE: Os autores (2018).

Para realizar a simulação do isolador à exposição solar, utilizou-se duas lâmpadas que fornecem radiação ultravioleta, montadas na Roda de Trilhamento direita, próximas aos isoladores, aumentando a exposição à radiação ultravioleta, permitindo a degradação do material em um menor tempo de exposição.

FIGURA 15 - APLICAÇÃO DE LUZ ULTRAVIOLETA



FONTE: Os autores (2018).

Para este trabalho foi utilizado uma lâmpada da marca Osram modelo Ultra-Vitalux, sua potência é de 300 W e tensão nominal de 230V. A radiação proveniente da lâmpada compõe todo o espectro de radiação solar, seu funcionamento é a partir de um filamento de tungstênio e descargas de alta pressão. Em sua construção possui um filtro dopado com substâncias que permitem a passagem apenas da radiação UVA e UVB. (ULTRA-VITALUX, 2010).

Para comprar a radiação emitida pela lâmpada foram medidos os seus valores iniciais, ao retirar a lâmpada da caixa, e final, após conclusão do ensaio, TABELA 9

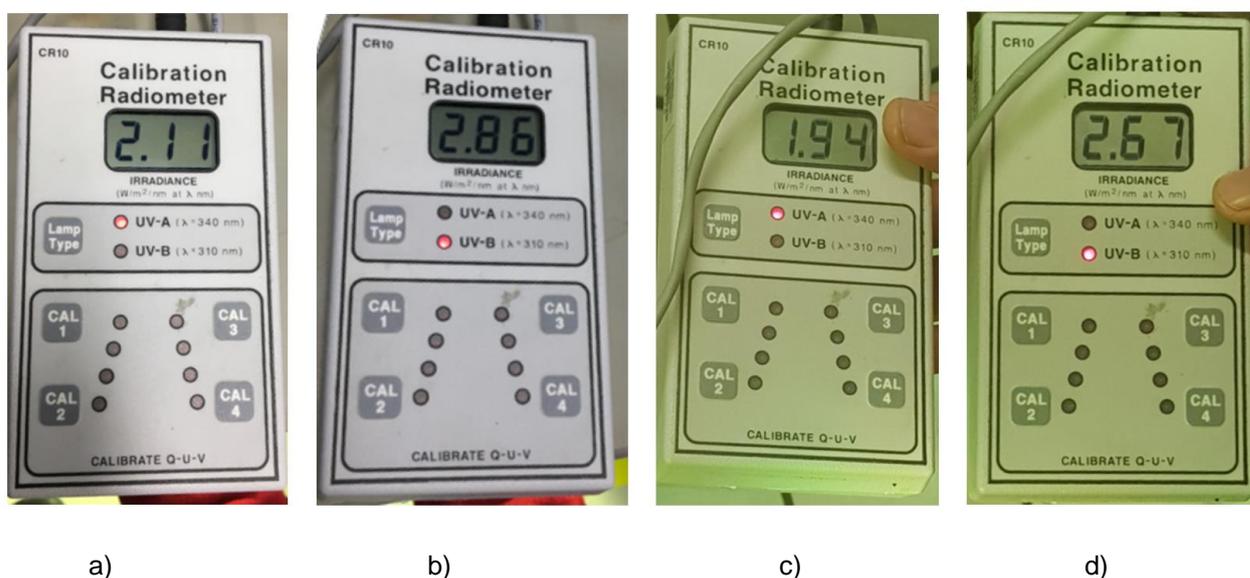
TABELA 9 - VALORES DE INTENSIDADE DE RADIAÇÃO UV MEDIDOS.

MEDIDAS DE RADIAÇÃO UV		
Equipamento: CR10		
Antes do Ensaio	UV-A	2,11 (W/m)
	UV-B	3,10 (W/m)
Após Ensaio	UV-A	1,94 (W/m)
	UV-B	2.67 (W/m)

FONTE: Os autores (2018).

Pode se avaliar que a intensidade da radiação não alterou drasticamente, seus valores medidos estão apresentados na FIGURA 16.

FIGURA 16 - Mediação realizada com o equipamento CR10. A) Medida de UV-A antes do ensaio B) Medida de UV-B antes do ensaio C) Medida de UV-A Após o termino do ensaio D) Medida de UV-B após o termino de ensaio.



FONTE: Os autores (2018).

O reservatório de solução salina deve apresentar um teor de NaCl de $1,40 \text{ kg/m}^3 \pm 0,06 \text{ kg/m}^3$. Primeiro, os reservatórios foram preenchidos com água deionizada. Depois realizou-se a medição das dimensões dos mesmos, e o cálculo do volume de água em cada um dos tanques resulto no valor de 290 litros de água. Foi coletado uma amostra de água de um dos tanques, que foi analisada pelo

condutímetro, ver FIGURA 17, apresentando o valor de condutividade de 16,8 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$. Com esse valor e o volume do tanque, foi utilizado um programa do laboratório para calcular a quantidade de NaCl que deveria ser incluído para chegar ao valor de salinidade exigido pela norma. Apesar dos tanques serem conectados, foram despejados 406 g de NaCl em cada tanque para melhorar a sua homogeneidade. Após a inclusão do sal, deixou-se a solução recircular e realizou-se nova medição. A nova condutividade da água foi medida utilizando o condutímetro e apresentou o valor de 2.6 mS.cm.

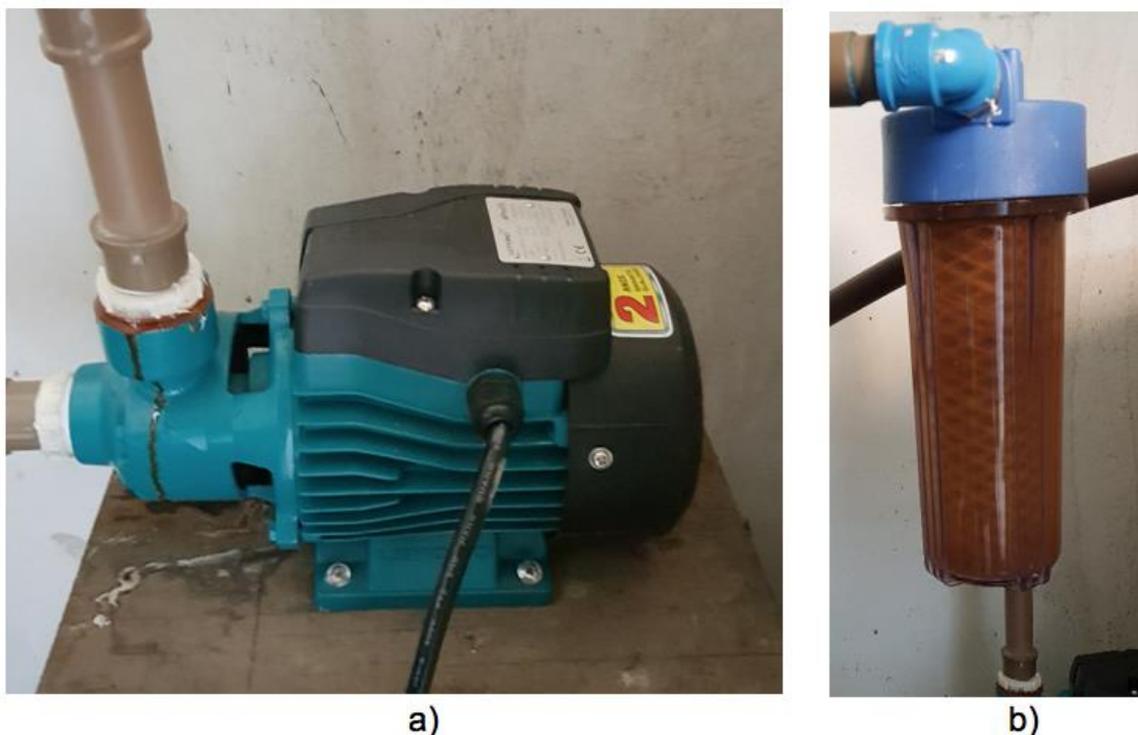
Conforme já apresentado anteriormente, deparou-se que com aplicação do sistema de recirculação, a condutividade não se alterou, concluindo-se que não há necessidade de fazer a troca d'água. Ver FIGURA 18

FIGURA 17 - CONDUTÍMETRO E AMOSTRA DE ÁGUA DEIONIZADA



FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 18 - SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA A) BOMBA B) FILTRO



FONTE: Os autores (2018).

Baseando-se na norma a tensão aplicada nos isoladores está diretamente relacionada com a distância de escoamento. Pelo método apresentado no capítulo Roda de Trilhamento, a tensão é calculada em quilovolts, dividindo a distância média em milímetros por 28,6. Como foram analisados quatro pares de amostras, sendo que dois pares são idênticos, encontrou-se três valores diferentes de tensão. Após os cálculos, foi selecionado o maior valor de tensão a fim de simular uma maior agressividade nos isoladores.

A tensão aplicada ao isolador em ensaio era proveniente de um transformador de potência, conforme a FIGURA 19.

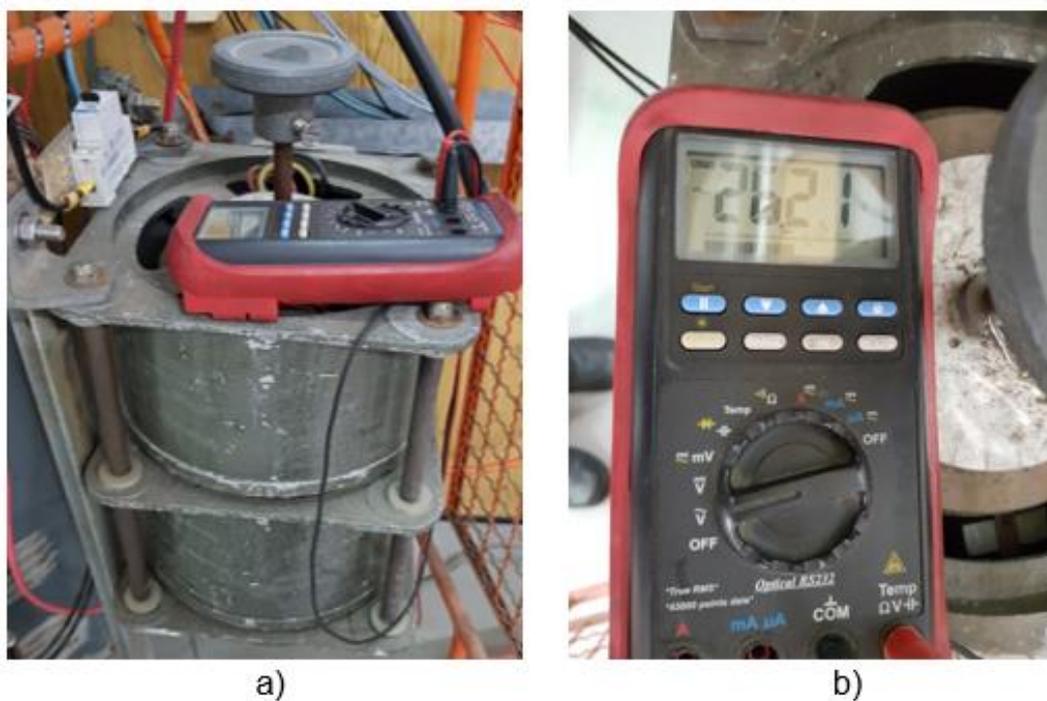
FIGURA 19 - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA



FONTE: Os autores (2018).

O ajuste de tensão aplicada no isolador foi realizado alterando a tensão de entrada da rede no lado de baixa do transformador de potência, pois como é conhecido o valor da relação de transformação e possível chegar ao valor desejado na saída do transformador apenas alterando a tensão de entrada. Para isso utilizou-se um variador de tensão ligado a tensão da rede, e ajustou-se o curso para variar a tensão de saída, até chegar o valor desejado, conforme a FIGURA 20.

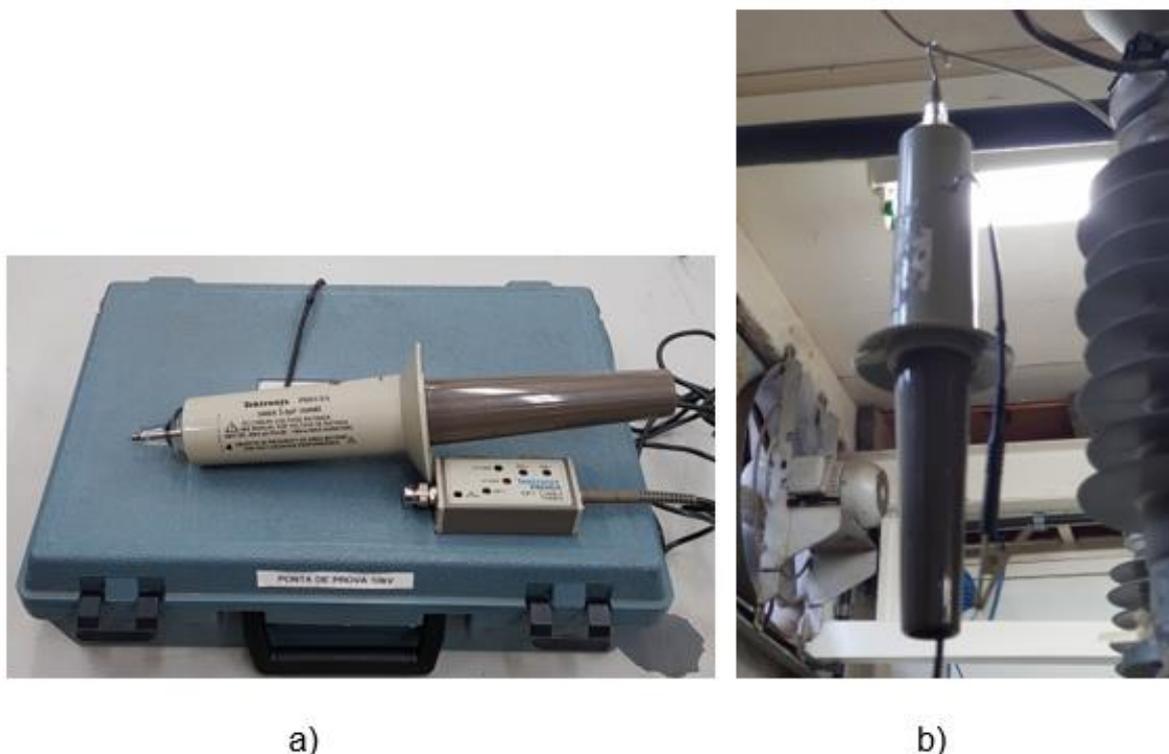
FIGURA 20 - AJUSTE DE TENSÃO NA ENTRADA DO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA



FONTE: Os autores (2018).

Após o ajuste inicial do valor da tensão com o variador de tensão, foi realizado a verificação do valor aplicado, utilizou-se a ponteira de alta tensão, FIGURA 21:

FIGURA 21 - VERIFICAÇÃO DO VALOR DA TENSÃO APLICADA DO ISOLADOR, A) EXPOSIÇÃO DA MONTAGEM DA PONTA DE PROVA E B) POSICIONAMENTO DA PONTA DE PROVA NO PONTO DE ALTA TENSÃO.



FONTE: Os autores (2018).

A aplicação da tensão sobre os isoladores ensaiados foi realizada apenas no período de energização, sendo aplicada a tensão de 17,17 kV. O Elemento de contato energizado, está ligada na ponta da estrutura, passando por condutores metálicos e depois em uma dobradiça que permite sua movimentação. A tensão é apenas aplicada quando a ponta do isolador a ser avaliado toca a placa de metal. Essa estrutura é montada utilizando dois isoladores de 15 kV que aumentam a distância de escoamento e possibilitam o ajuste do posicionamento da aplicação de tensão, os isoladores estão fixados na armação metálica, que por sua vez é aterrada. Ver FIGURA 22.

FIGURA 22 - APLICAÇÃO DA TENSÃO NOS ISOLADORES ENSAIADOS



FONTE: Os autores (2018).

Para avaliar a corrente de fuga, foi elaborada uma conexão elétrica que possibilitou fazer sua leitura de uma forma que a rotação do ensaio não atrapalhasse a aquisição dos dados, posteriormente enviando os valores de corrente para computador. O envio é realizado por um circuito transdutor, que transforma a corrente elétrica em luz para poder transmiti-la por fibra óptica por uma distância de alguns metros e possibilite a proteção contra possíveis surtos elétricos durante o ensaio. Posteriormente outro transdutor transformar de volta a luz em corrente para a aquisição dos dados pelo dispositivo DAC, e finalmente seu armazenamento e

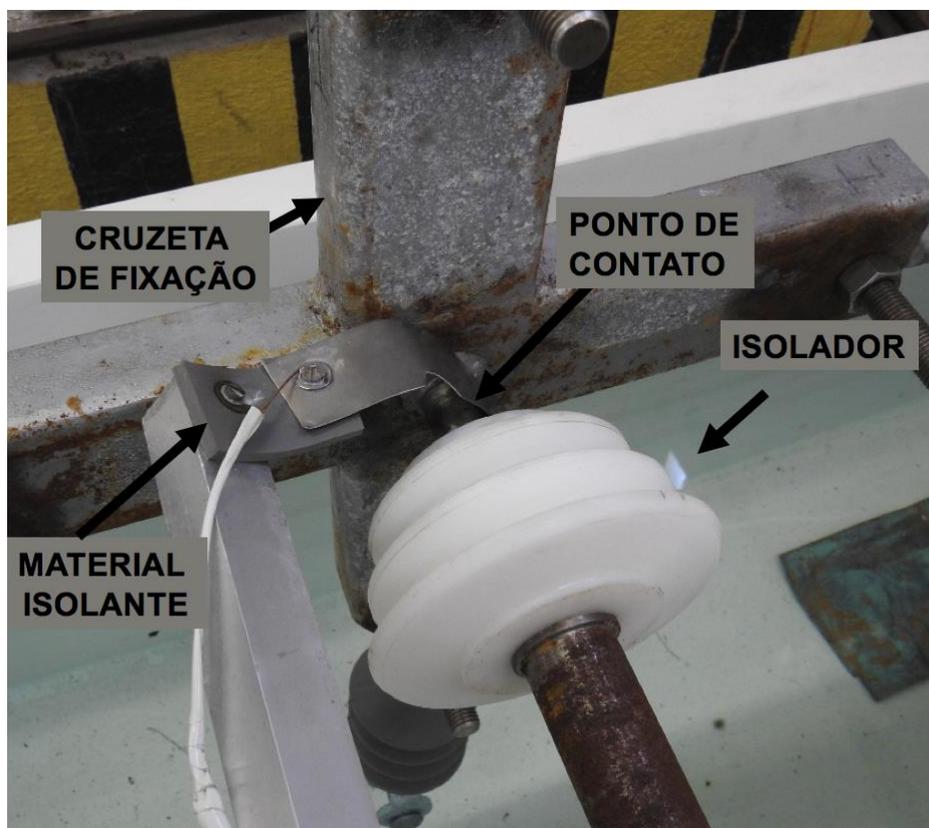
apresentação visual no computador. O fluxograma da transdução de dados está demonstrado na FIGURA 23.



FONTE: Os autores (2018).

A corrente de fuga que passa pelos isoladores é transformada em tensão a partir de um sensor shunt resistivo. Ele é conectado em um fio de cobre, que por sua vez, foi fixado no ponto de contato. A fim de possibilitar que toda a corrente circule pelo sensor, um isolador de estrutura foi instalado entre a cruzeta de fixação e o motor. A corrente tende a passar pelo fio e sensor shunt resistivo, pois o isolador possui uma resistividade elevada. Ver FIGURA 24.

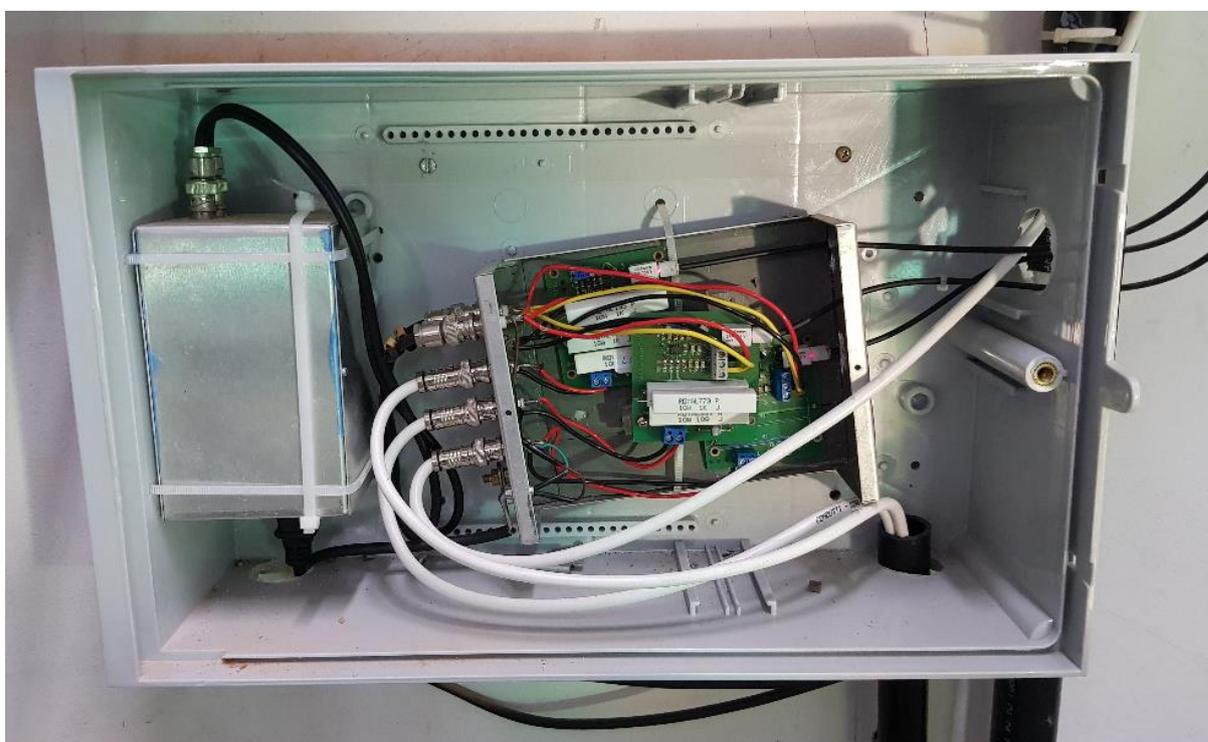
FIGURA 24 - ELETRODO DE CONTATO PARA AQUISIÇÃO DA CORRENTE DE FUGA



FONTE: Os autores (2018).

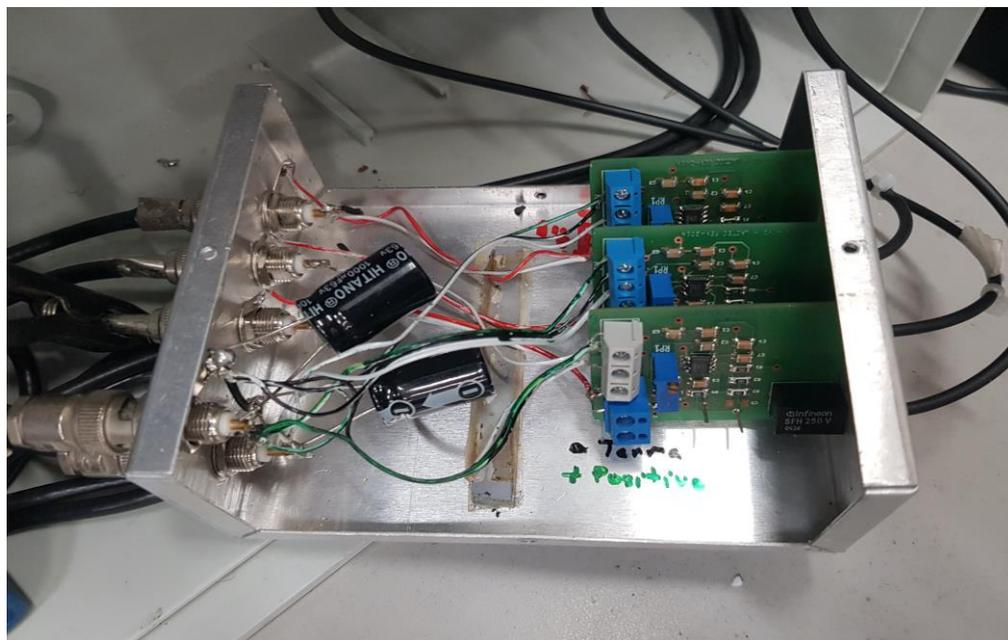
Para a transmissão dos dados da corrente de fuga, foi utilizado um transdutor por fibra óptica que a equipe de instrumentação do LACTEC/DPTM desenvolveu. Como o dispositivo de aquisição de dados (DAQ) é muito sensível a surtos elétricos foi desenvolvido esse transdutor, pois permite a separação do circuito de potência para o circuito de leitura. Esse transdutor é dividido em dois circuitos, o circuito emissor que realiza a transdução da corrente de fuga em luz, ver FIGURA 25, e o circuito receptor que transforma a luz em sinal de tensão elétrica, ver FIGURA 26. Os dois circuitos são conectados a partir de três ramos de fibra óptica que são devidamente calibradas

FIGURA 25 - CIRCUITO EMISSOR E FONTE DE ALIMENTAÇÃO



FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 26 - CIRCUITO RECEPTOR



FONTE: Os autores (2018).

A maior dificuldade na montagem desse sistema foi o ajuste dos circuitos de emissão e o de aquisição com a fibra óptica, que deveria estar precisamente alinhada com o fotodiodo de cada circuito para uma transmissão efetiva. Para isso as fibras foram cortadas e lixadas cuidadosamente para sua ponta manter uma angulação de 90 graus com o comprimento e depois feitos testes para verificar

Após a transdução da luz em sinal de tensão elétrica, a informação transmitida pelas fibras ópticas enviadas ao DAQ são recebidas e lidas por uma interface computacional desenvolvida com a utilização do software Labview. Posteriormente, os dados são coletados e salvos para cada par de amostra separadamente. O fluxograma do processo de aquisição de corrente de fuga é mostrado na FIGURA 27.

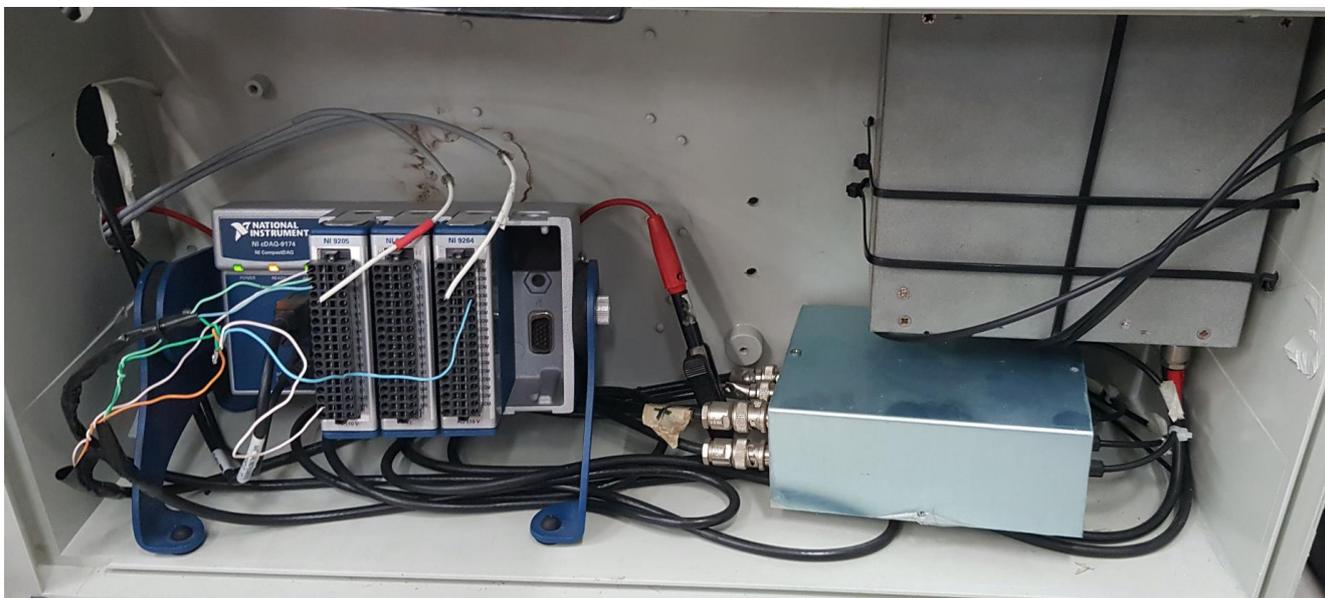
FIGURA 27 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE CORRENTE DE FUGA



FONTE: Os autores (2018).

O circuito receptor é alimentado por uma fonte e diretamente ligado ao DAC. Ver FIGURA 28.

FIGURA 28 - DAC, CIRCUITO RECEPTOR E FONTE



FONTE: Os autores (2018).

O software feito no LabView faz a aquisição de três entradas de sinal para cada isolador: duas de corrente de fuga, uma de cada lado da roda, e uma de tensão. É feito um ajuste para leitura dos sinais em RMS (APÊNDICE B – INTERFACE E DIAGRAMA DE BLOCOS NO LABVIEW). A cada 32 segundos o programa faz uma comparação e sempre o maior valor da corrente de cada isolador, e o menor valor da tensão. Em outra parte do programa é feito outro tipo de armazenamento, a cada 38 segundos, é salvo a corrente de fuga RMS instantânea, máxima RMS e os valores de tensão. Os dados são exportados para um arquivo de texto que, com a utilização do software Excel, são gerados os gráficos para análises.

O Software também faz a aquisição dos ciclos de rotação, onde são monitorados a partir de um fim de curso fixado na estrutura, FIGURA 29, a cada novo ciclo de rotação da roda de trilhamento ela provoca o acionamento da chave fim de curso, essa chave fecha o contato e envia um sinal para o software de aquisição.

FIGURA 29 - CONTADOR DE PULSO



FONTE: Os autores (2018).

Algumas medidas foram tomadas para atender a segurança das pessoas que trabalham no laboratório. As lâmpadas ultravioletas utilizadas no ensaio possuem uma intensidade considerada perigosa para a visão. Para evitar essa exposição, foi instalado um anteparo na frente do local crítico, ver FIGURA 30. Para sinalizar a energização do circuito, foi instalado uma lâmpada de advertência vermelha, ver FIGURA 31.

FIGURA 30 - ANTEPARO PARA PROTEÇÃO DA RADIAÇÃO UV



FONTE: Os autores (2018).

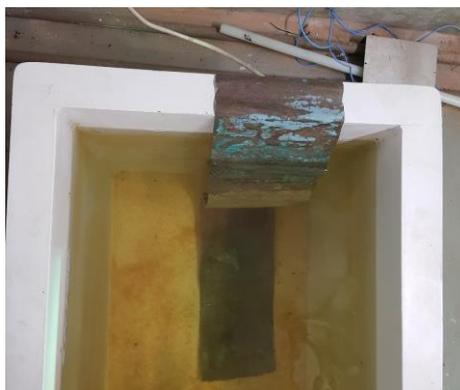
FIGURA 31 – LÂMPADA DE ADVERTÊNCIA



FONTE: Os autores (2018).

Pontos estratégicos do protótipo foram aterrados para garantir a segurança e melhor confiabilidade dos dados coletados. O laboratório possui uma estrutura adequada com uma cordoalha de aterramento, que passa por calhas fixadas na parede. Nos dois tanques foi colocada uma chapa metálica em contato com a água para evitar possíveis acidentes caso algum componente energizado caísse no tanque, ver FIGURA 32. A estrutura de sustentação também foi aterrada.

FIGURA 32 - ATERRAMENTO NOS TANQUES



FONTE: Os autores (2018).

Muitas vezes as medidas de segurança relativas ao ambiente não são suficientes para eliminar os riscos, por isso a utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI) é de fundamental importância na prevenção de acidentes. A fim de prevenir acidentes foi utilizado óculos de proteção, luvas de camurça, bota de couro para isolamento elétrico e jalecos, ver FIGURA 33.

FIGURA 33 – EPI'S UTILIZADOS



FONTE: Os autores (2018).

3.2.3 Ensaio Pré e Pós Envelhecimento

Todos os isoladores passaram por ensaios antes de serem expostos ao envelhecimento e após o envelhecimento, nos capítulos posteriores serão apresentados o desenvolvimento dos ensaios de hidrofobicidade e MEV.

3.2.3.1 Hidrofobicidade

Para avaliar a diferença da classe de molhabilidade dos isoladores, antes e depois do ensaio da Roda de Trilhamento, foi utilizada a norma ABNT IEC/TS 62.073. Dentre os três métodos, foi escolhido o método C - Método do Pulverizador.

Foi utilizado um pulverizador a pressão, ver FIGURA 34, para fazer uma fina e constante névoa de água. A água, por sua vez, é deionizada com condutividade de $10 \mu\text{S}/\text{cm}$, garantido que não houvesse impurezas que influenciassem na sua tensão superficial. E por último, foi usado uma câmera fotográfica para facilitar a avaliação da classe de molhabilidade dos isoladores.

FIGURA 34 - PULVERIZADOR DE PRESSÃO

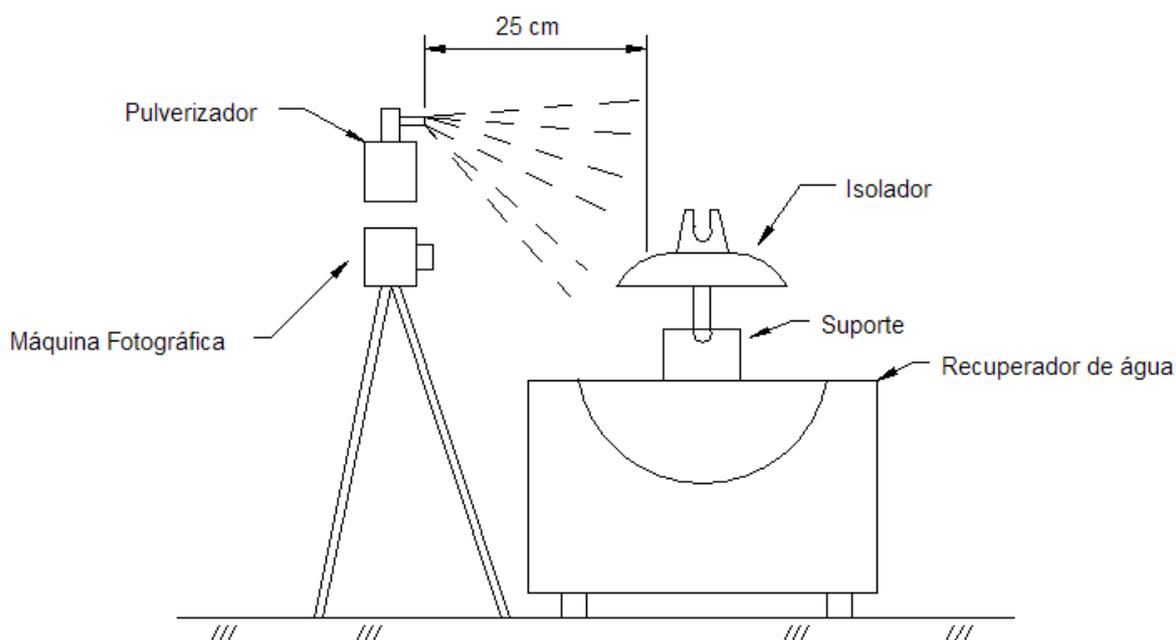


FONTE: Os autores (2018).

Seguindo os requisitos da norma, a temperatura do ambiente foi controlada pelo ar condicionado, permanecendo entre $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. As amostras, já secas, foram montadas como no esquemático da FIGURA 35. O pulverizador foi colocado a uma

distância de $25 \text{ cm} \pm 10 \text{ cm}$ e acionado, a fim de produzir uma névoa de 10 a 30 ml, no tempo de 20 a 30 segundos, sendo esse tempo controlado por um cronômetro digital. A câmera fotográfica foi posicionada em baixo do pulverizador, mantendo a mesma distância das amostras, e as fotos foram tiradas durante um período de até 5 segundos após o pulverizador cessar seu funcionamento.

FIGURA 35 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ENSAIO DE HIDROFOBICIDADE



FONTE: Os autores (2018).

3.2.3.2 MEV

Com auxílio do técnico que opera o equipamento MEV, foram realizadas as avaliações das mudanças da morfologia superficial das amostras. Para isso um pequeno pedaço superficial de cada isolador foi retirado, e analisado através do equipamento, ver FIGURA 36.

FIGURA 36 – AVALIAÇÃO COM O MEV: A) AMOSTRAS ANALISADAS B) EQUIPAMENTO MEV



a)

b)

FONTE: Os autores (2018).

3.2.3.3 Resistência Superficial

Uma das principais características dos isoladores é não permitir a passagem de corrente elétrica. Por isso, esses componentes possuem uma resistência superficial muito alta. Para verificar seu nível de isolamento, é medida a sua resistividade superficial com o método eletrômetro:

Primeiramente o isolador é posicionado dentro de uma Gaiola de Faraday de dupla camada a fim de realizar mediadas confiáveis sem sofrer influências do ambiente externo, evitando a influência de campos elétricos e magnéticos indesejáveis, como na FIGURA 37.

FIGURA 37 – ARRANJO DO ENSAIO DE RESISTIVIDADE SUPERFICIAL



FONTE: Os autores (2018).

Depois foi conectado o equipamento High Resistant Meter nas pontas A e B do isolador, como na FIGURA 38. Foi escolhido usar esse equipamento pois ele aplica a tensão, que nesse caso foi de 1 kV, mede a corrente e já faz o cálculo da resistência superficial.

FIGURA 38 – MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL



FONTE: Os autores (2018).

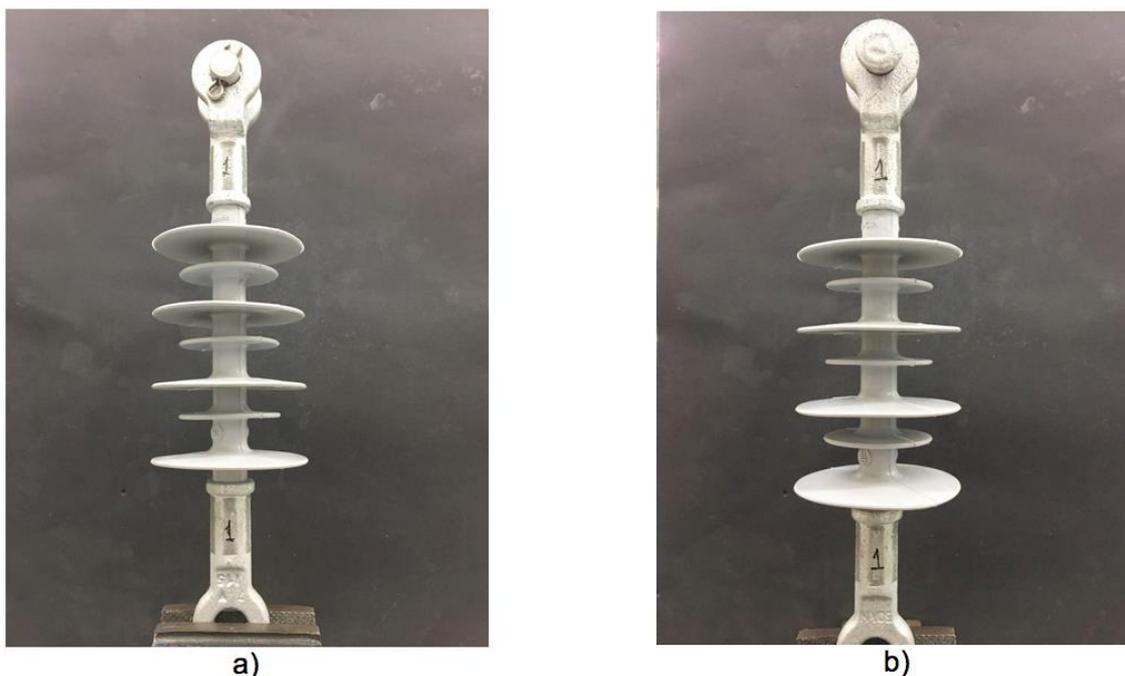
4 RESULTADOS

4.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Os isoladores foram recebidos e limpos com água deionizada e álcool isopropílico. Depois eles foram numerados um a um e analisados, atentando-se se as especificações estavam de acordo com os dados técnicos do fabricante, seguindo também as conformidades geométricas exigidas pela norma ABNT 16.326:2014. Todos foram aprovados na avaliação visual, e posteriormente realizou-se o registro fotográfico da face A e B dos oito isoladores, como é mostrado da

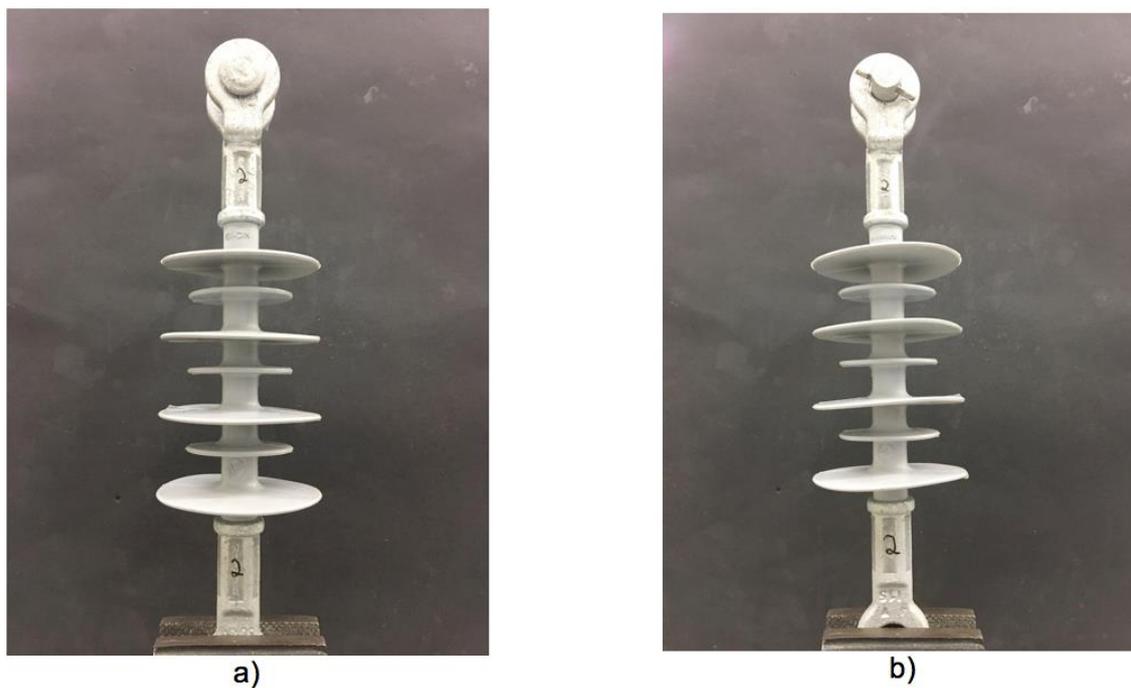
FIGURA 39 até a FIGURA 46.

FIGURA 39 - ISOLADOR 1 A) Face A B) Face B



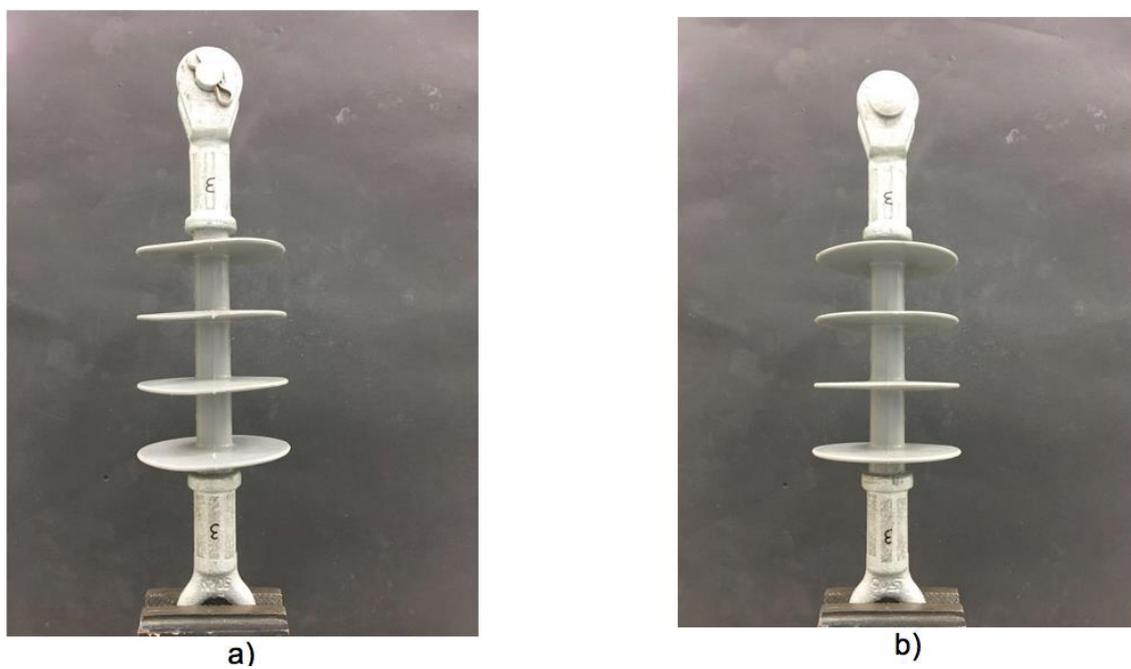
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 40 - ISOLADOR 2 A) Face A B) Face B



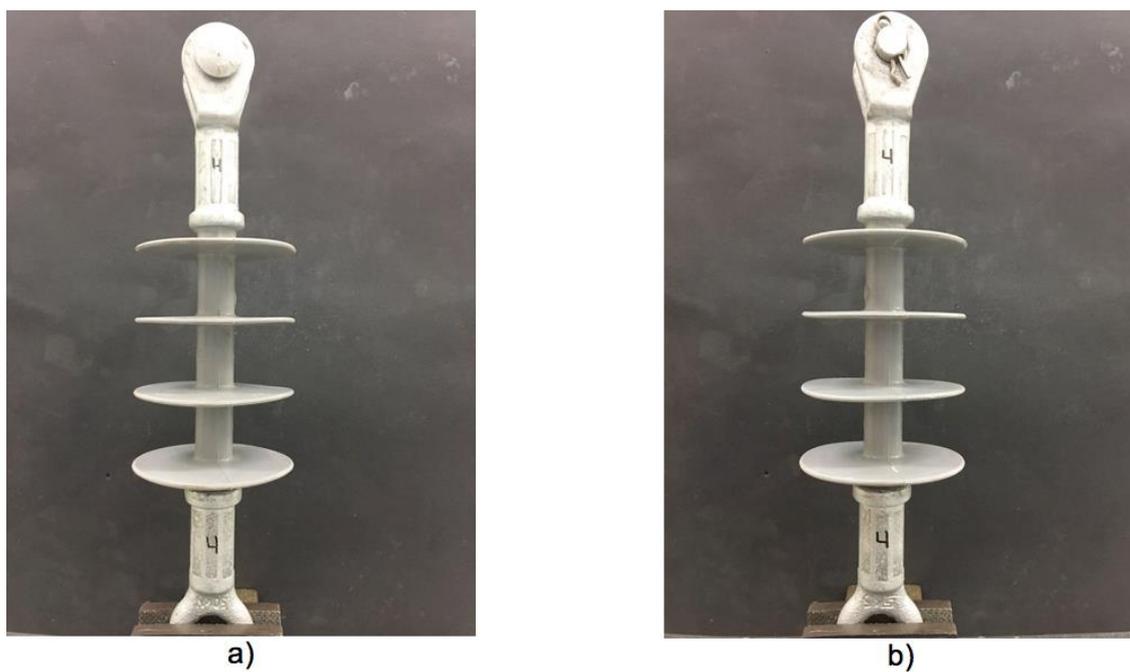
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 41 - ISOLADOR 3 A) Face A B) Face B



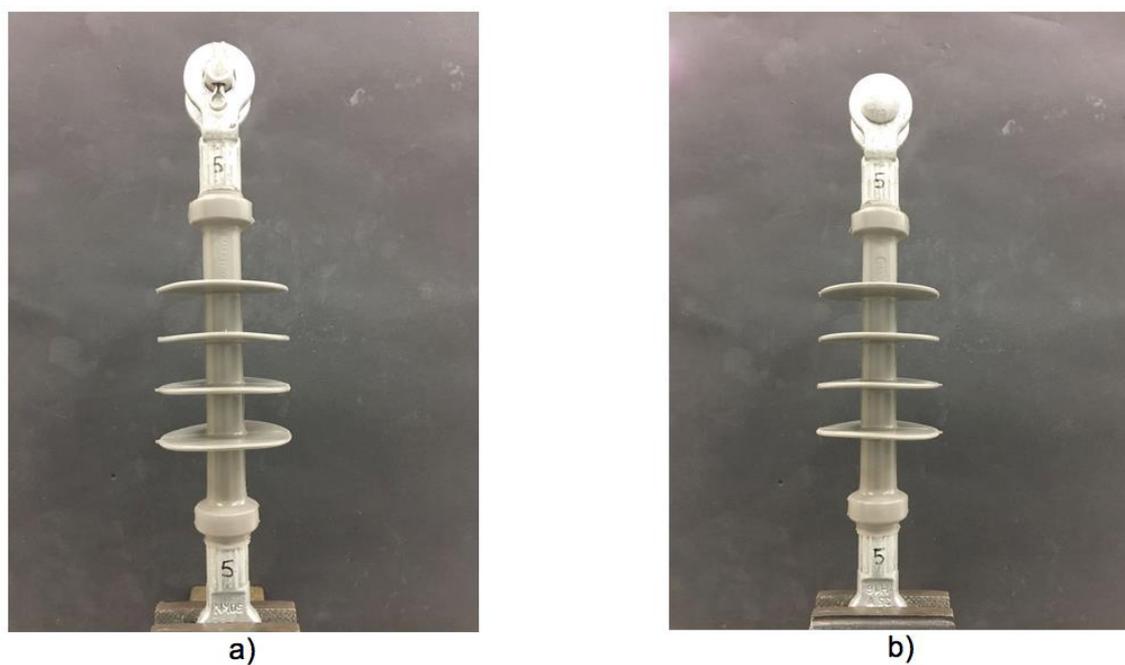
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 42 - ISOLADOR 4 A) Face A B) Face B



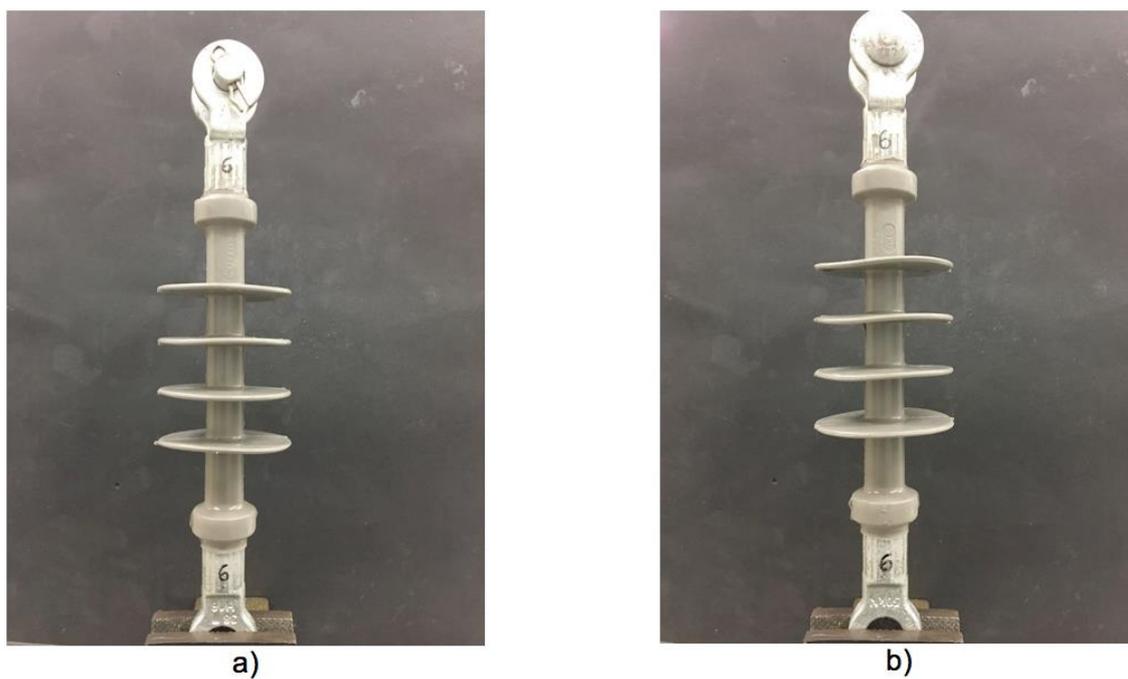
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 43 - ISOLADOR 5 A) Face A B) Face B



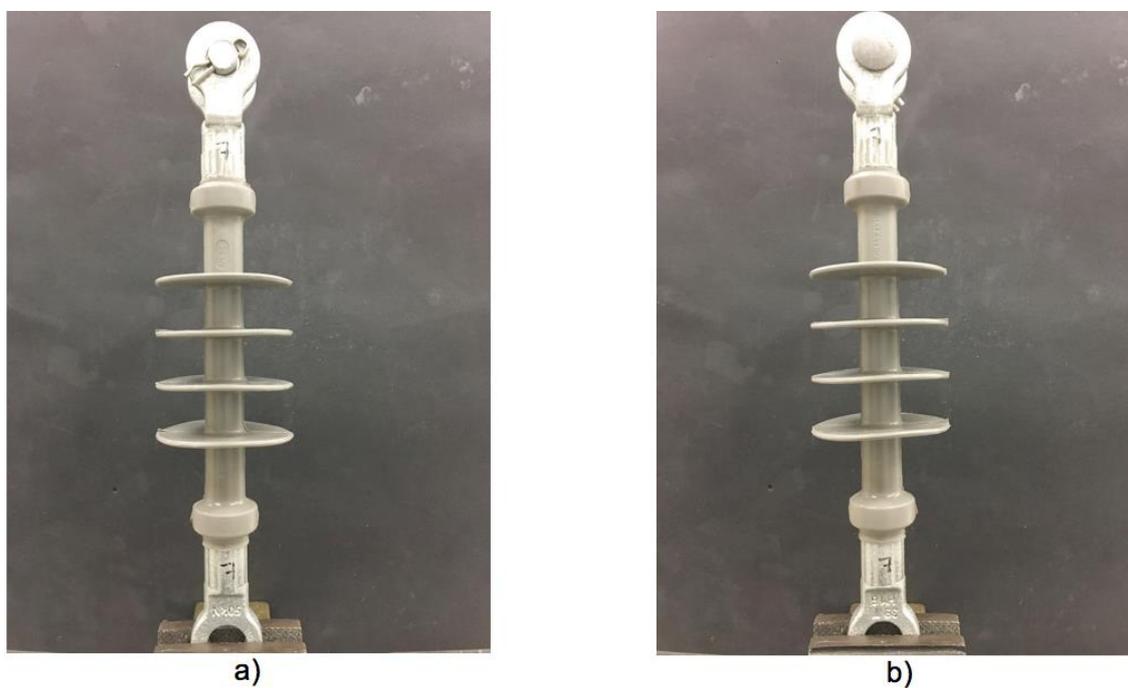
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 44 - ISOLADOR 6 A) Face A B) Face B



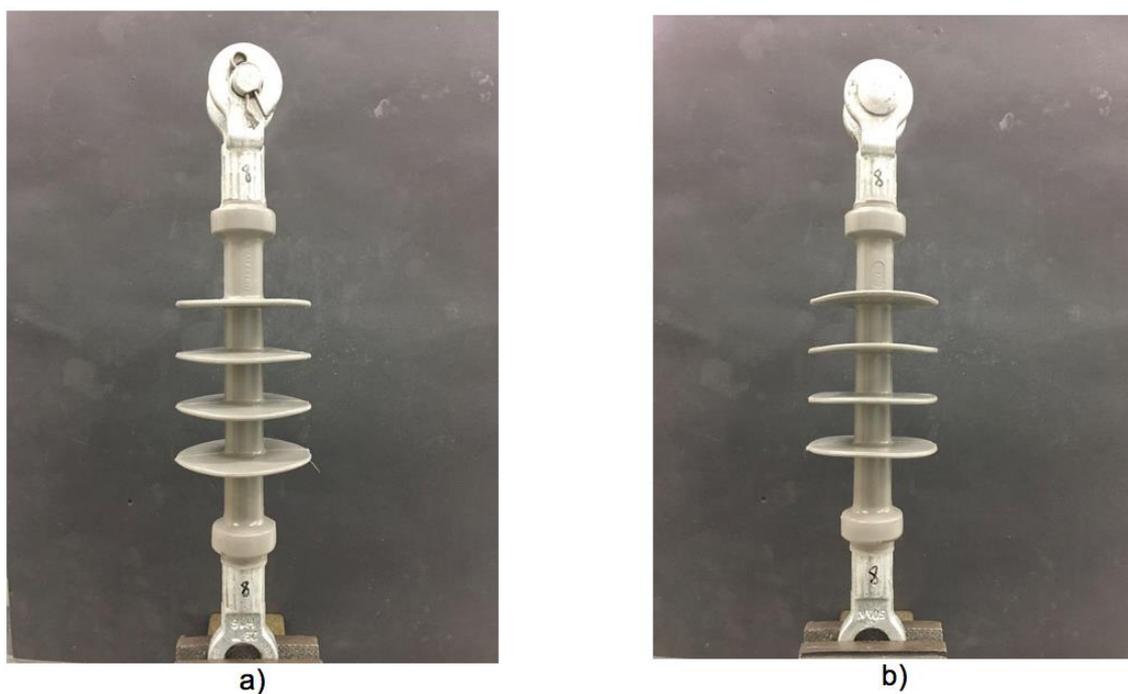
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 45 - ISOLADOR 7 A) Face A B) Face B



FONTE: Os autores (2018).

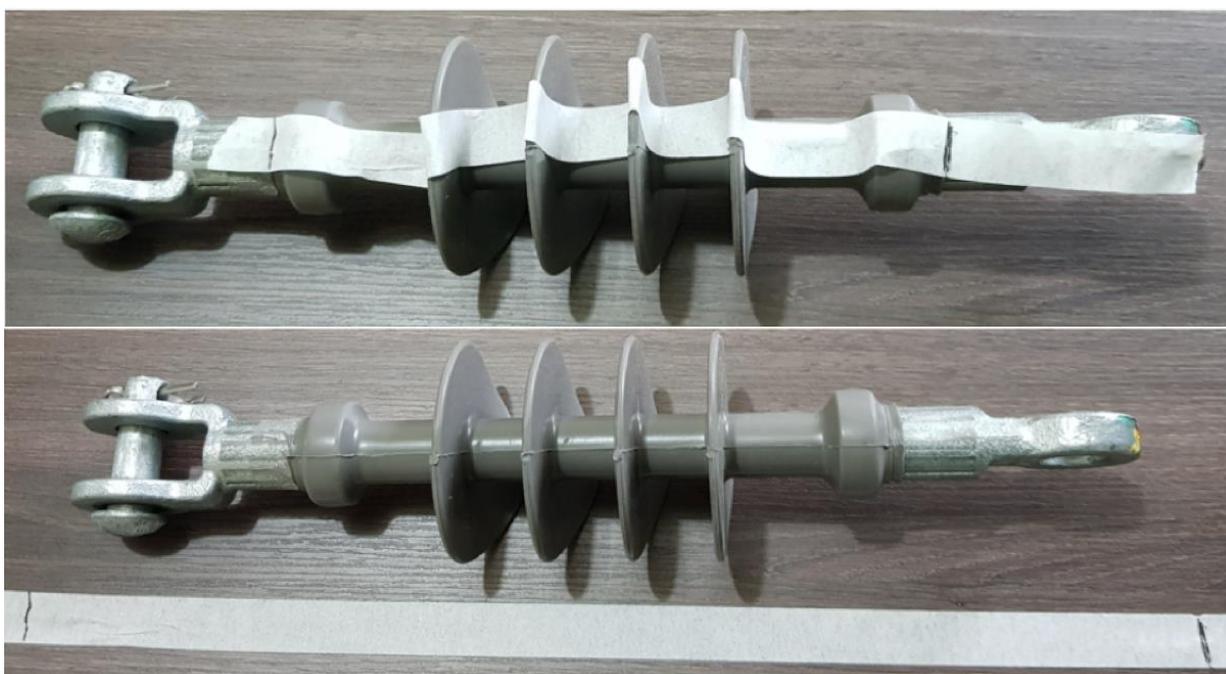
FIGURA 46 - ISOLADOR 8 A) Face A B) Face B



FONTE: Os autores (2018).

Após a classificação dos isoladores, foi feita a medida da distância de escoamento usando uma fita crepe e depois pegando sua medida, ver FIGURA 47.

FIGURA 47 - MEDIÇÃO DA DISTÂNCIA DE ESCOAMENTO



FONTE: Os autores (2018).

Os dados coletados estão mostrados na TABELA 10:

Isolador	1 e 2	3 e 4	5, 6, 7 e 8
Fabricante	A	B	C
Distância de Escoamento [cm]	49,1	40,3	42,2
Tensão [kV]	17,17	14,09	14,75

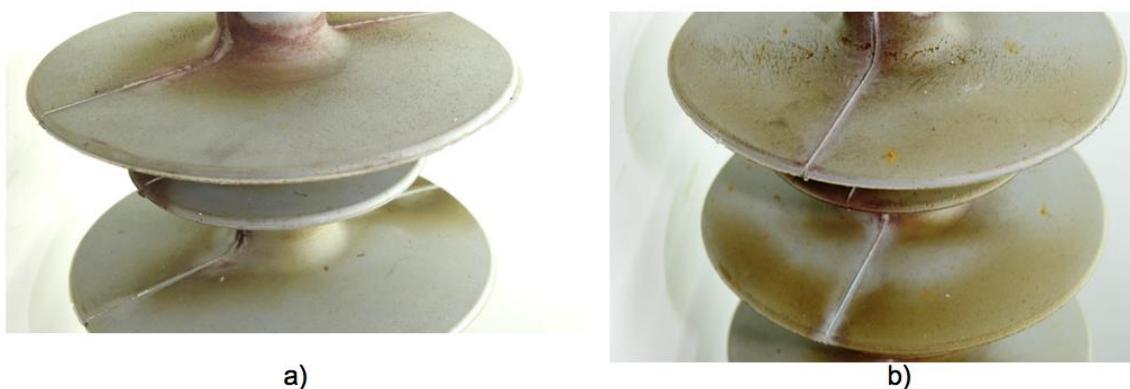
FONTE: Os autores (2018).

Foi escolhida a tensão de 17,17kV para ser aplicada em todos os isoladores a fim de simular um envelhecimento acelerado mais agressivo.

4.2 ENSAIO MODIFICADO DA RODA DE TRILHAMENTO MODIFICADA

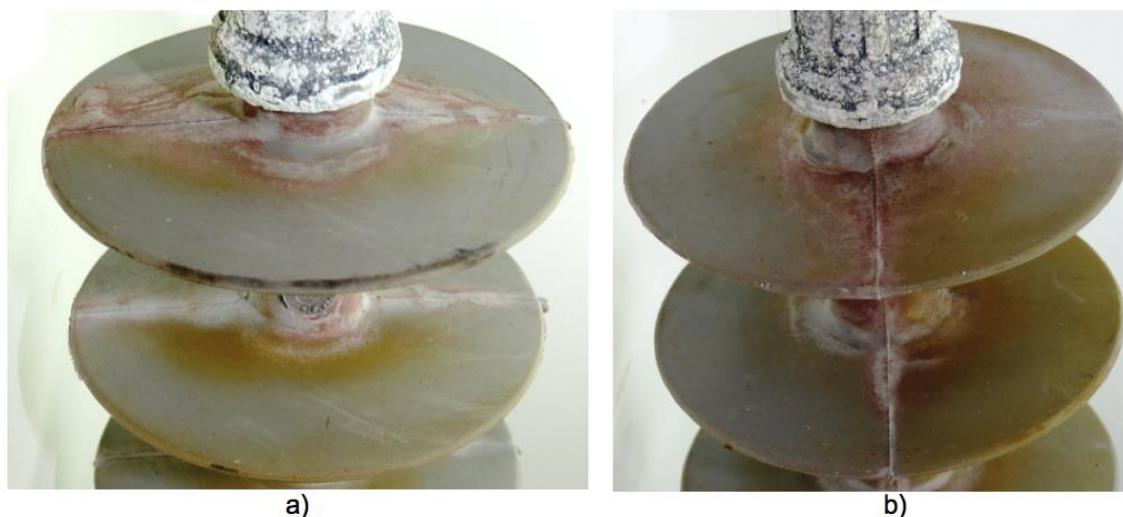
Após as amostras estarem expostas ao ensaio de roda de trilhamento, os isoladores foram retirados dos aparatos de montagem e foram analisados visualmente. As FIGURA 48 a FIGURA 50 mostram um comparativo entre as amostras que tiveram aplicação de luz ultravioleta, amostras pares, e as que não tiveram, amostras ímpares:

FIGURA 48 - INSPEÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS A) Isolador 1 B) Isolador 2



FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 49 - INSPEÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS A) Isolador 3 B) Isolador 4



FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 50 - INSPEÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS A) Isolador 5 B) Isolador 6



FONTE: Os autores (2018).

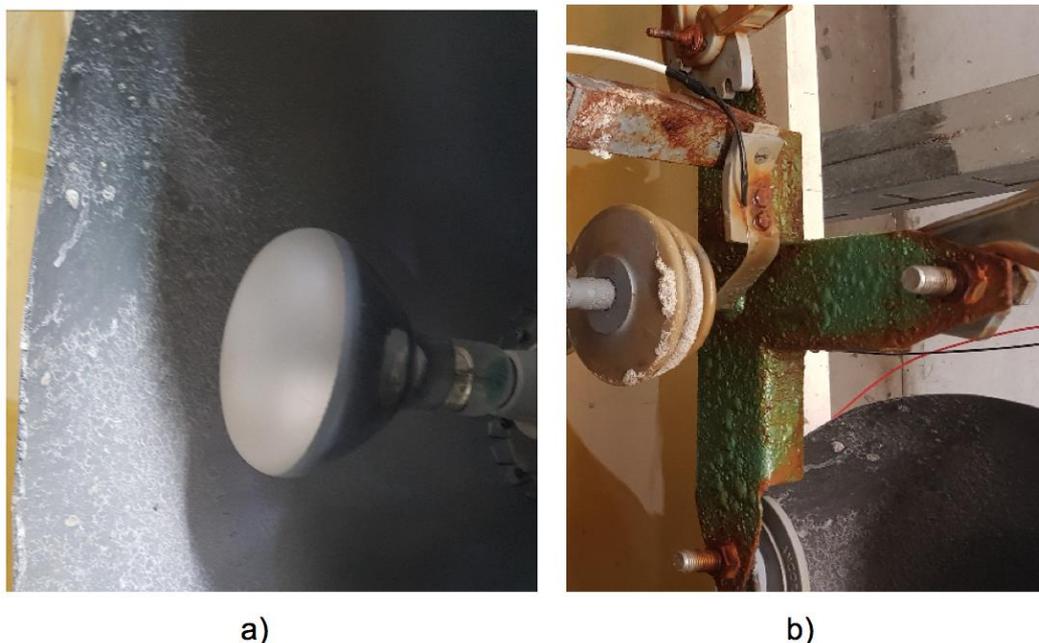
Na inspeção visual foram verificadas algumas divergências nas superfícies dos pares de amostras. As amostras pares, que receberam influências de radiações ultravioletas, tiveram uma alteração na sua coloração, tendendo mais para uma cor bronze mais acentuada. O mesmo pode-se notar nas amostras ímpares, porém com menor intensidade.

Na FIGURA 50, é possível ver que os isoladores tiveram escamações na sua superfície, porém, o Isolador 6 também teve índice de erosão.

Conclui-se então que a luz ultravioleta teve um papel forte em relação ao envelhecimento acelerado, todos os isoladores tiveram uma degradação maior

quando expostos a essa condição. Além disso, foi possível visualizar sua influência na cúpula que cobria a lâmpada e na cruzeta de fixação, ver FIGURA 51.

FIGURA 51 - INFLUÊNCIA DA LUZ UV A) CÚPULA DA LÂMPADA B) CRUZETA DE FIXAÇÃO DEGRADADA

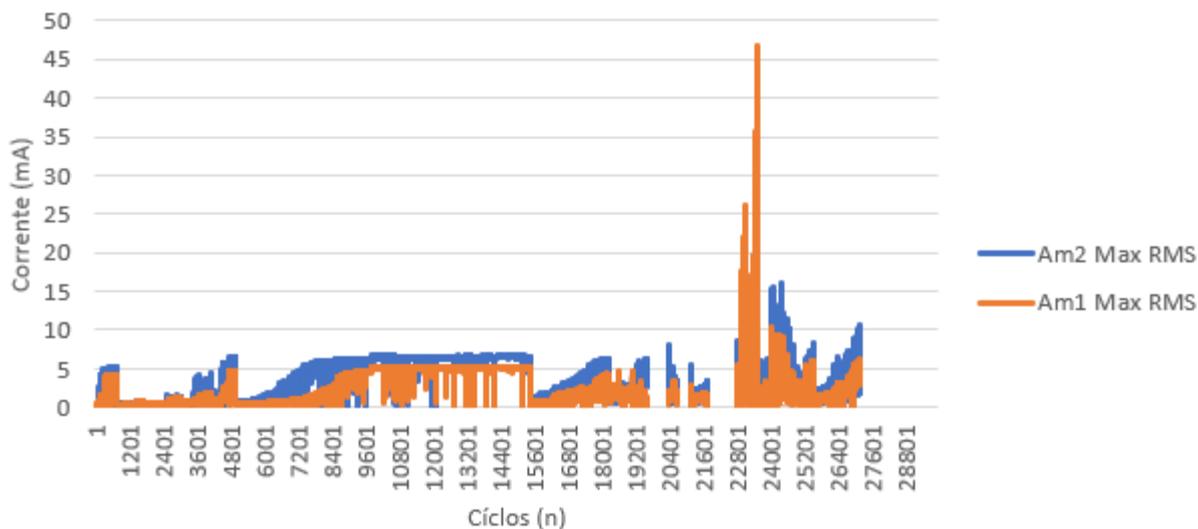


FONTE: Os autores (2018).

4.2.1 Aquisição da Corrente de Fuga

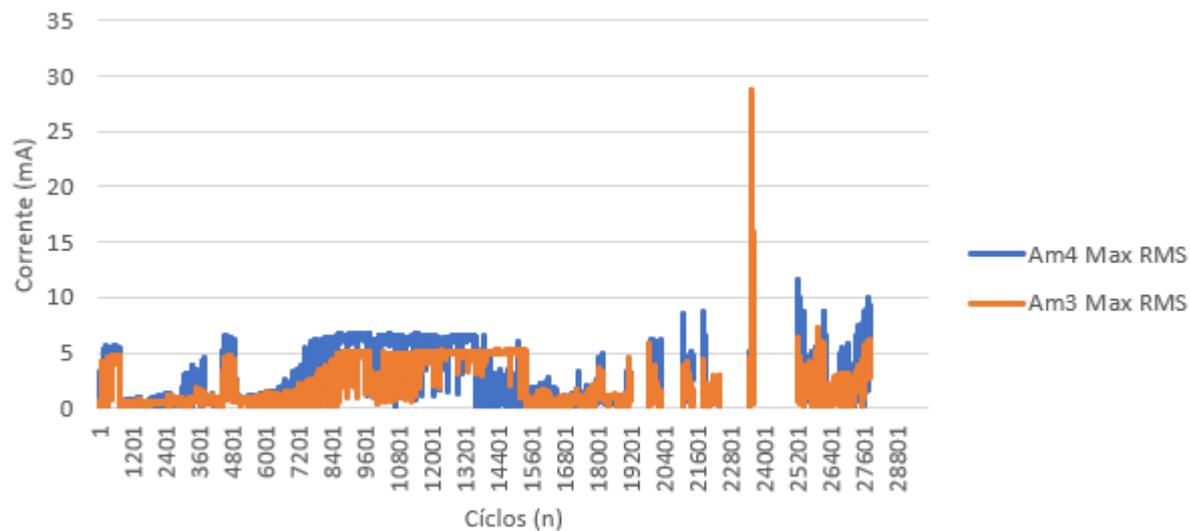
A fim de comparar a suportabilidade dos isoladores em relação aos intemperes ambientais, foi analisada a corrente de fuga RMS instantânea de cada amostra, a corrente máxima RMS e tensão de aplicação em cada ciclo, pois a norma admite um afundamento máximo de 25% da tensão em alta carga. A FIGURA 52 até FIGURA 55 apresenta os dados de comparação das correntes de fuga máxima RMS das amostras avaliadas.

FIGURA 52 - DADOS DE COMPARAÇÃO DA CORRENTE DE FUGA MÁXIMA RMS DA AMOSTRA 1 E AMOSTRA 2



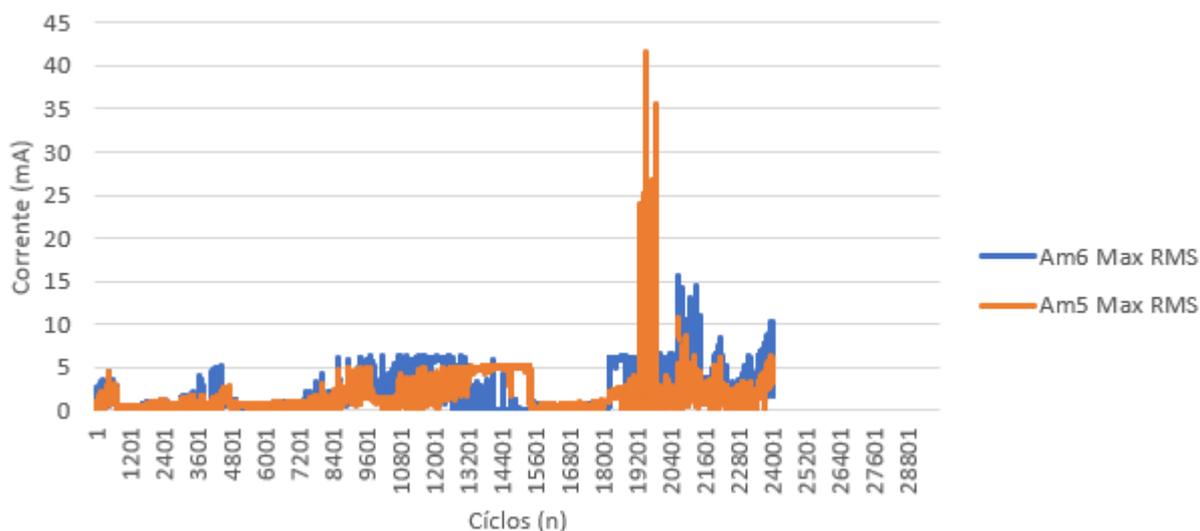
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 53 - DADOS DE COMPARAÇÃO DA CORRENTE DE FUGA MÁXIMA RMS DA AMOSTRA 3 E AMOSTRA 4



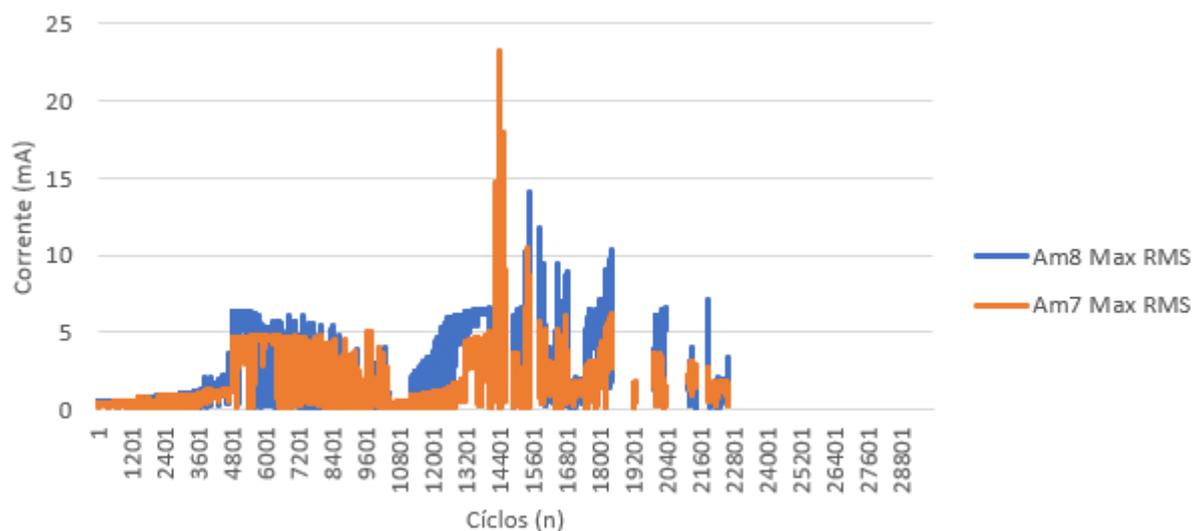
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 54 - DADOS DE COMPARAÇÃO DA CORRENTE DE FUGA MÁXIMA RMS DA AMOSTRA 5 E AMOSTRA 6



FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 55 - DADOS DE COMPARAÇÃO DA CORRENTE DE FUGA MÁXIMA RMS DA AMOSTRA 7 E AMOSTRA 8



FONTE: Os autores (2018).

Em geral as amostras pares, que tiveram um valor de corrente de fuga mais elevado que as ímpares. Porém não foi possível analisar os dados por causa da instabilidade da aquisição: durante o ensaio houve algumas paradas e interferências externas de outros ensaios.

4.3 ENSAIOS PRÉ- E PÓS-ENVELHECIMENTO

4.3.1 Hidrofobicidade

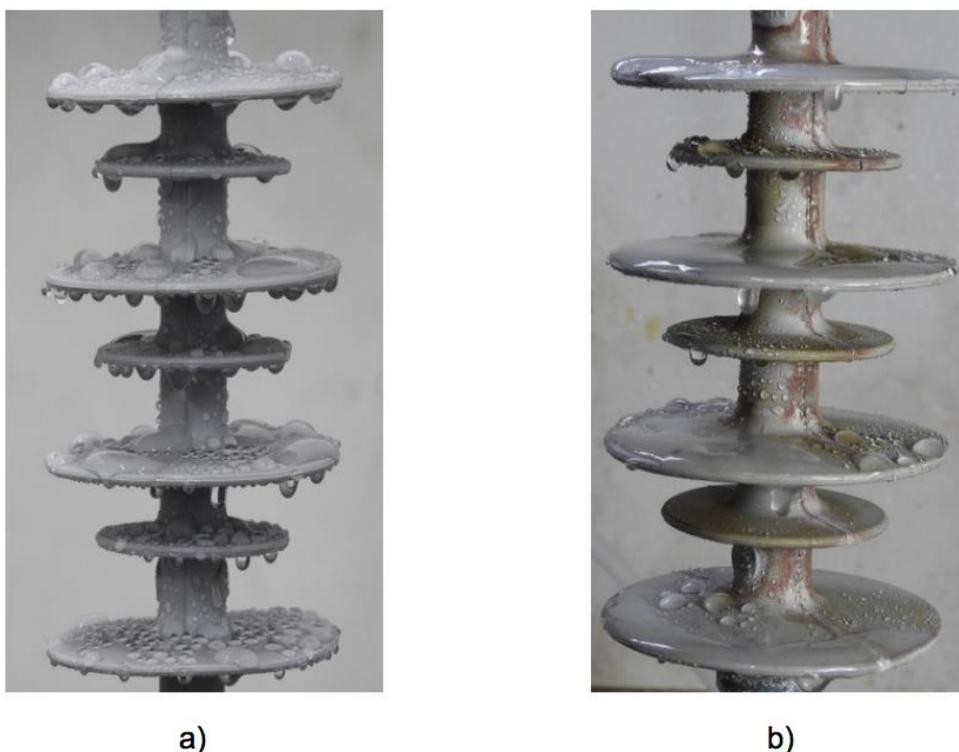
Da

FIGURA 56 até a FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 63 é possível ver a comparação da hidrofobicidade dos oito isoladores, antes e depois do ensaio de Roda de Trilhamento.

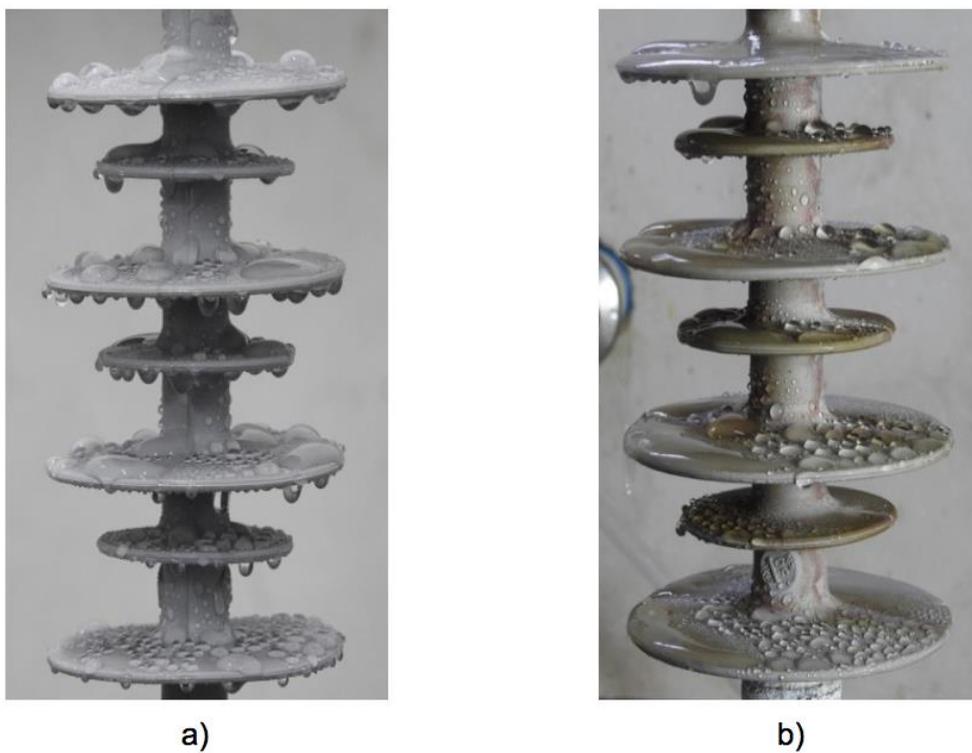
Com relação a antes do ensaio principal, as amostras possuíam o índice CM 1, que é o mais hidrofóbico. Depois, as amostras ímpares, que não sofreram radiação ultravioleta, apresentaram maior índice de hidrofobicidade denominando CM 4. As amostras pares, que receberam radiação ultravioleta, tiveram um menor índice de hidrofobicidade denominado CM 5 conforme índices da IEC 62073.

FIGURA 56 - ISOLADOR 1 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS-ENVELHECIMENTO



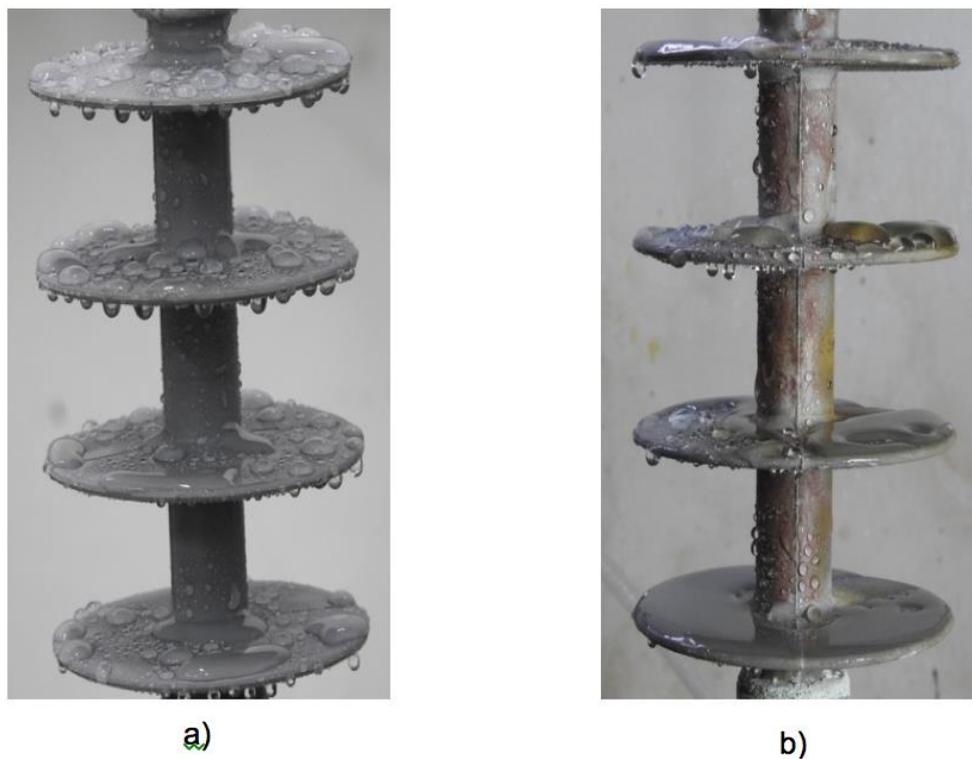
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 57 - ISOLADOR 2 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS-ENVELHECIMENTO



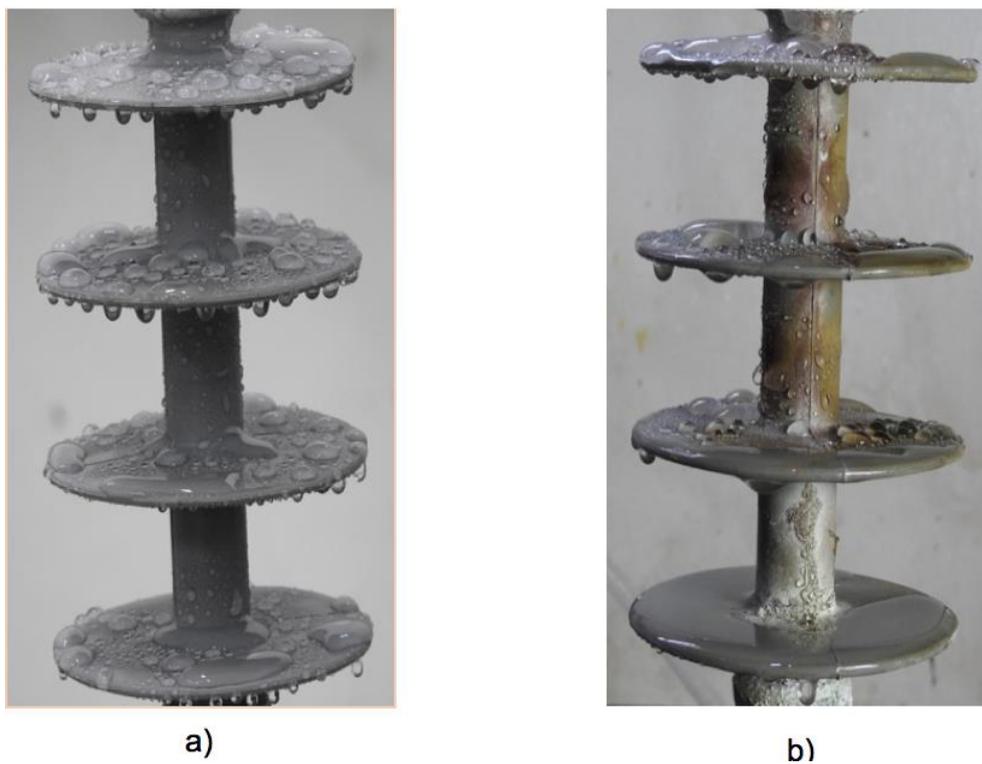
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 58 - ISOLADOR 3 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS-ENVELHECIMENTO



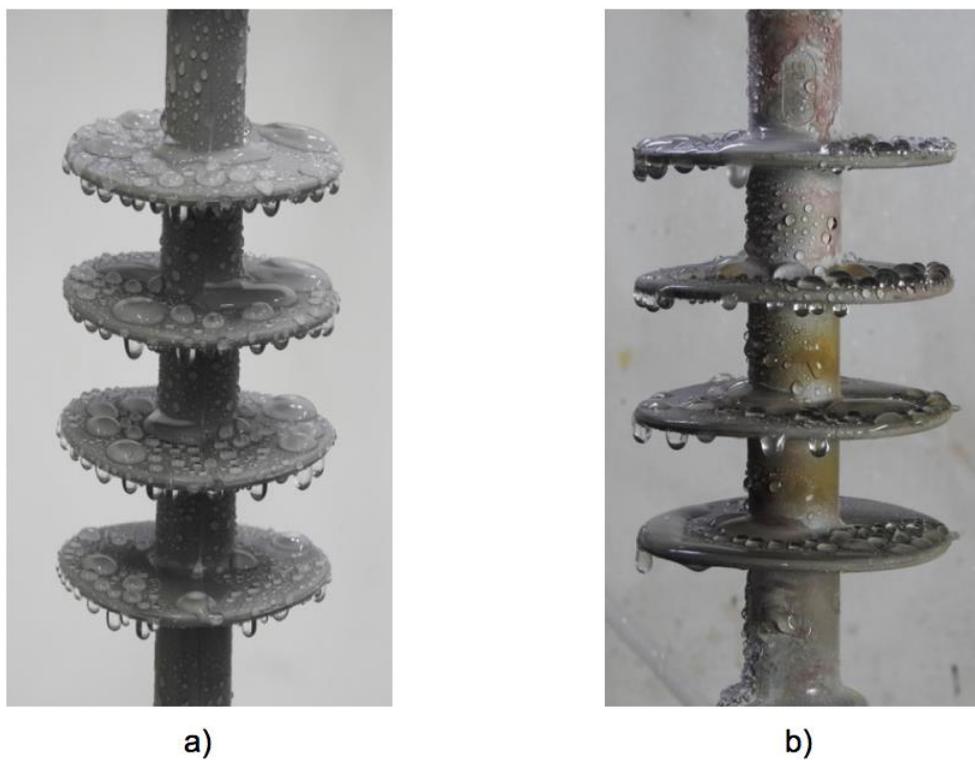
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 59 - ISOLADOR 4 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS-ENVELHECIMENTO



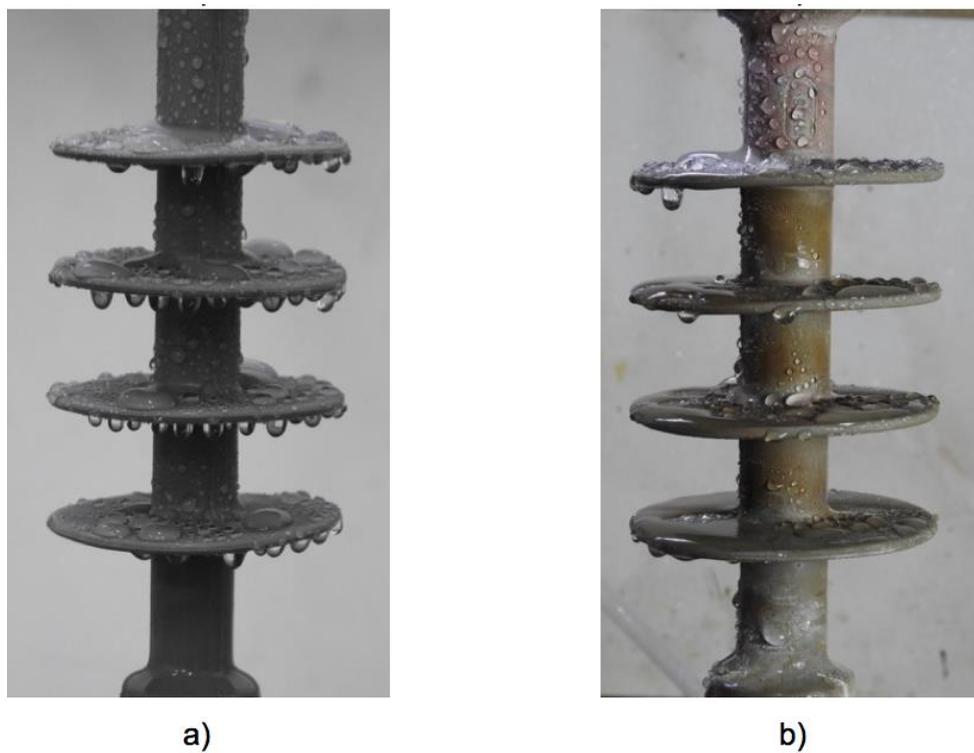
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 60 - ISOLADOR 5 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS-ENVELHECIMENTO



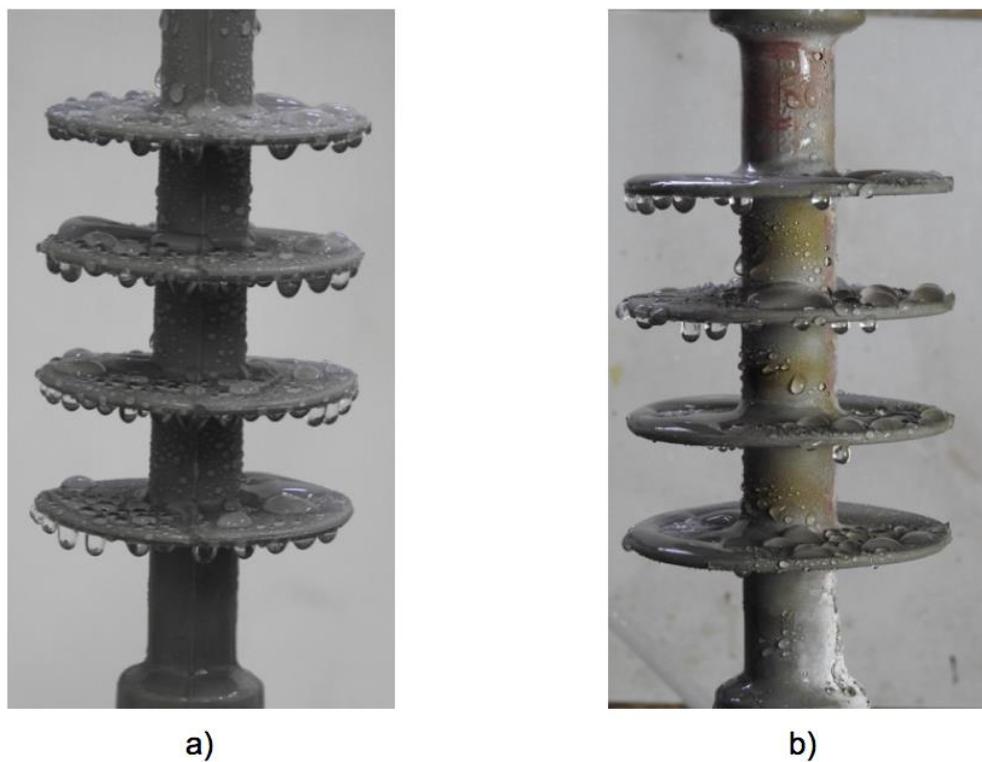
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 61 - ISOLADOR 6 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS-ENVELHECIMENTO



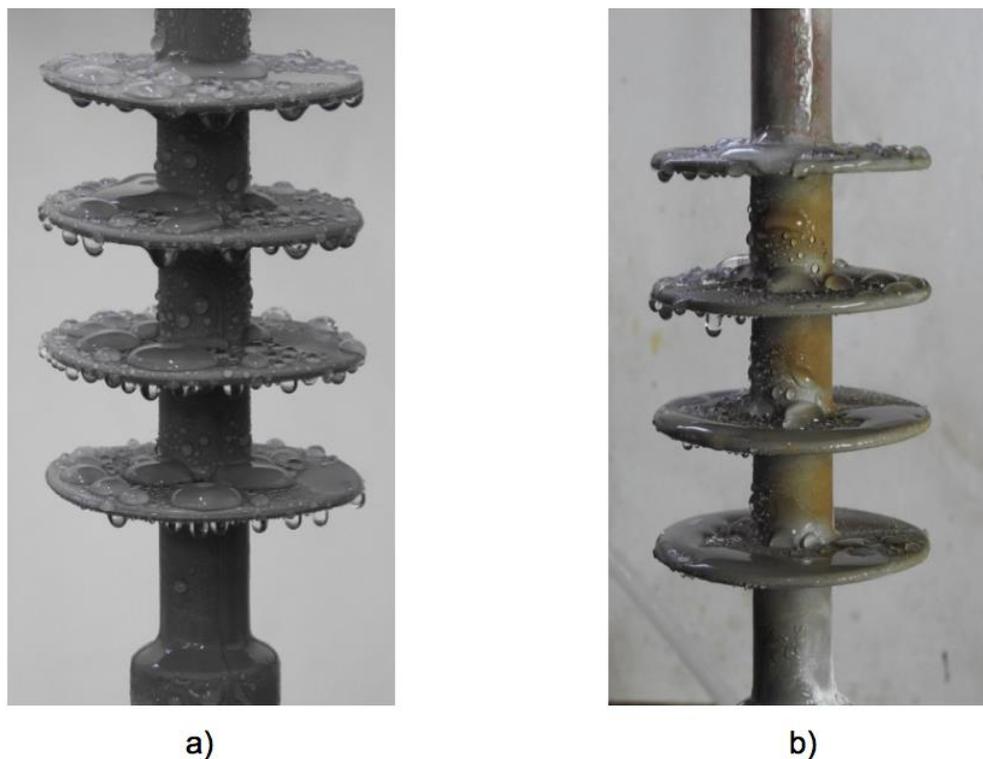
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 62 - ISOLADOR 7 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS-ENVELHECIMENTO



FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 63 - ISOLADOR 8 A) ANTES PRÉ-ENVELHECIMENTO B) PÓS-ENVELHECIMENTO

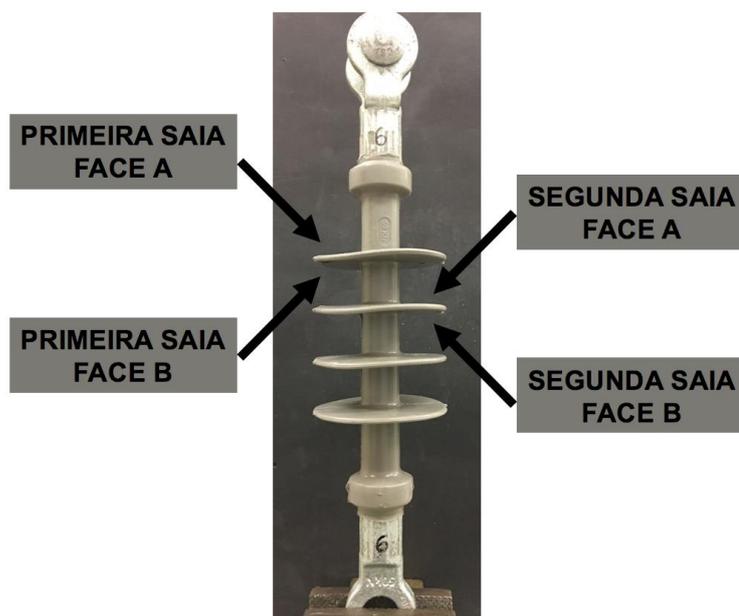


FONTE: Os autores (2018).

4.3.2 MEV

Foram coletadas fotos com aumento de 250 e 1.000 vezes do tamanho original. Antes dos isoladores serem colocados no ensaio de Roda de Trilhamento foi feita uma avaliação e, quatro avaliações depois do ensaio, ver FIGURA 64.

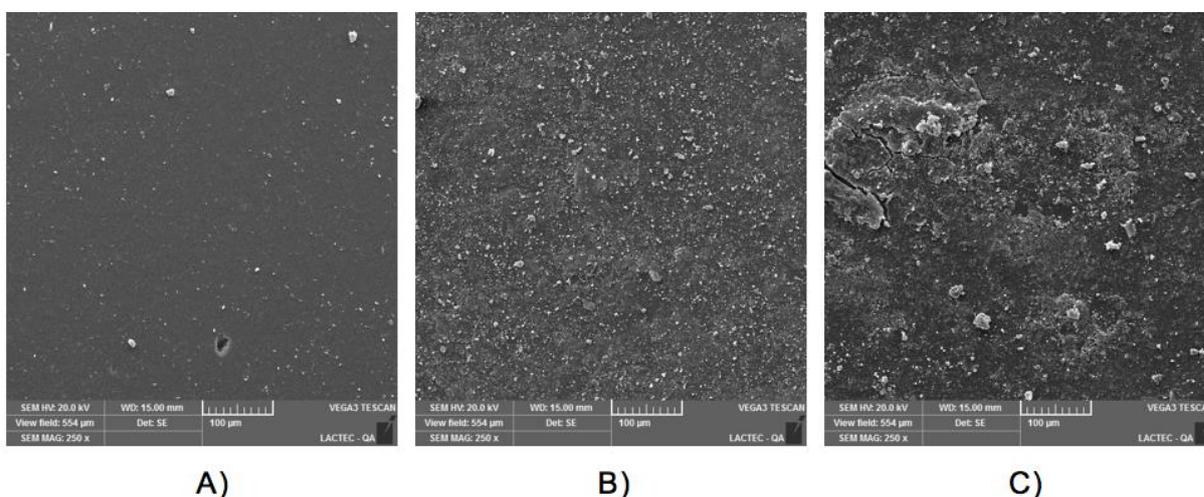
FIGURA 64 - LOCAIS DE AVALIAÇÃO MEV PÓS ENSAIO



FONTE: Os autores (2018).

Da FIGURA 65 até a FIGURA 67 é apresentada as avaliações da primeira saia dos isoladores, na face A, por conterem os dados que apresentaram maior degradação. Foi escolhido o aumento de 250 vezes do tamanho original, pois é possível ter uma visão mais ampla da superfície dos equipamentos.

FIGURA 65 - MEV DO ISOLADOR MARCA A: A) PRÉ ENSAIO B) PÓS ENSAIO SEM UV C) PÓS ENSAIO COM UV



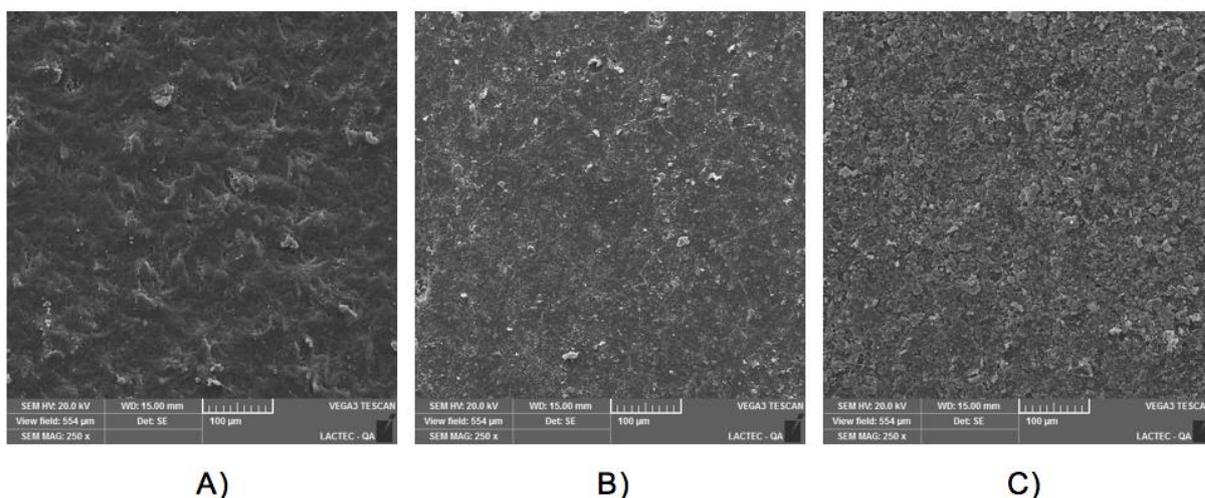
A)

B)

C)

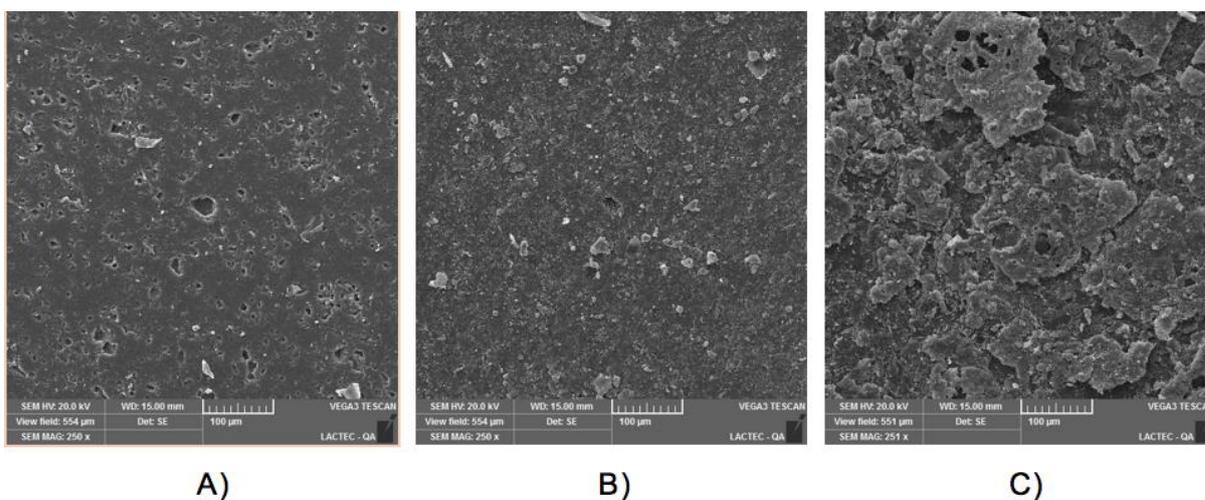
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 66 - MEV DO ISOLADOR MARCA B: A) PRÉ ENSAIO B) PÓS ENSAIO SEM UV C) PÓS ENSAIO COM UV



FONTE: Os autores (2018).

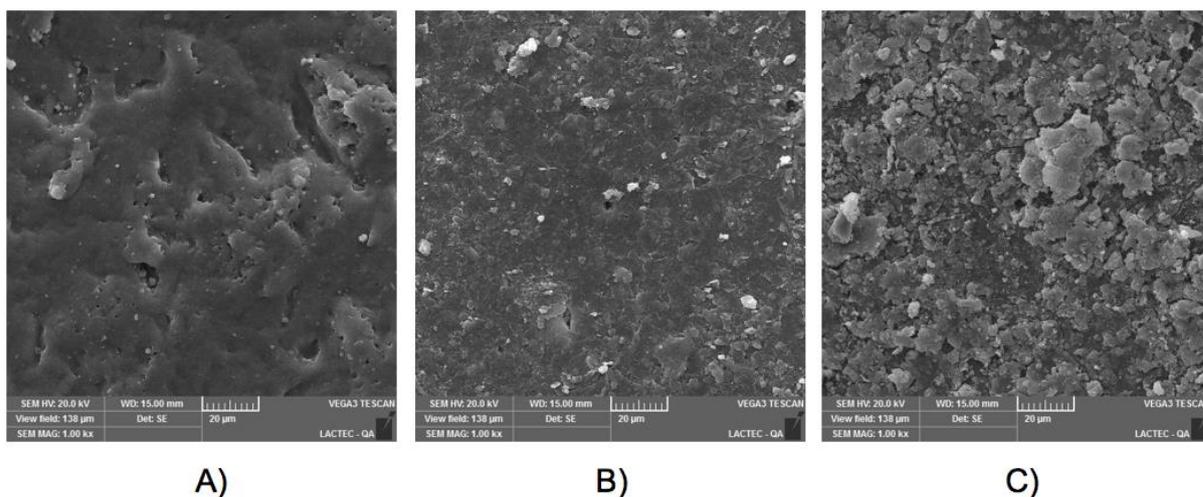
FIGURA 67 - MEV DO ISOLADOR MARCA C: A) PRÉ ENSAIO B) PÓS ENSAIO SEM UV C) PÓS ENSAIO COM UV



FONTE: Os autores (2018).

A partir das FIGURA 65 e FIGURA 67, é possível notar que houve um aumento da rugosidade superficial nas amostras das marcas A e C, isso pode ocorrer acúmulo de sujeira. Na FIGURA 66, isolador da marca B, não é visto uma grande diferença entre as fotos, porém houve degradação, que é melhor vista nas fotos com aumento de 1.000 vezes, ver FIGURA 68.

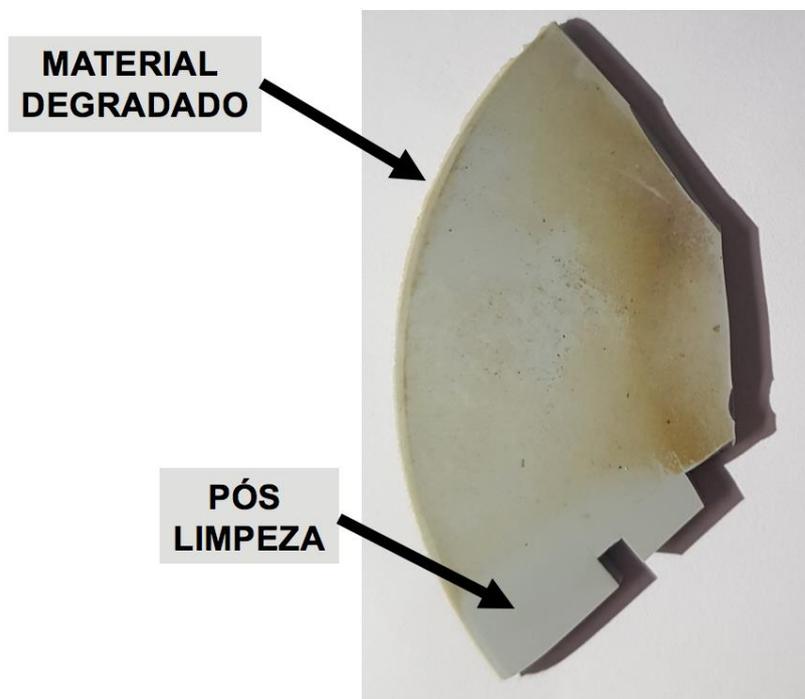
FIGURA 68 - MEV DO ISOLADOR MARCA C COM AUMENTO DE 1.000: A) PRÉ ENSAIO B) PÓS ENSAIO SEM UV C) PÓS ENSAIO COM UV



FONTE: Os autores (2018).

Uma característica que foi observada visualmente nos isoladores poliméricos analisados, é que, mesmo após apresentar degradação, ao serem limpos com álcool isopropílico, notou-se que a sua superfície retornou as características visuais iniciais, ver FIGURA 69. Porém não possível garantir que suas características elétricas se reconstituíram, pois não foi feito os ensaios de hidrofobicidade, resistividade superficial e MEV após a limpeza.

FIGURA 69 – AMOSTRA ISOLADOR POLIMÉRICO

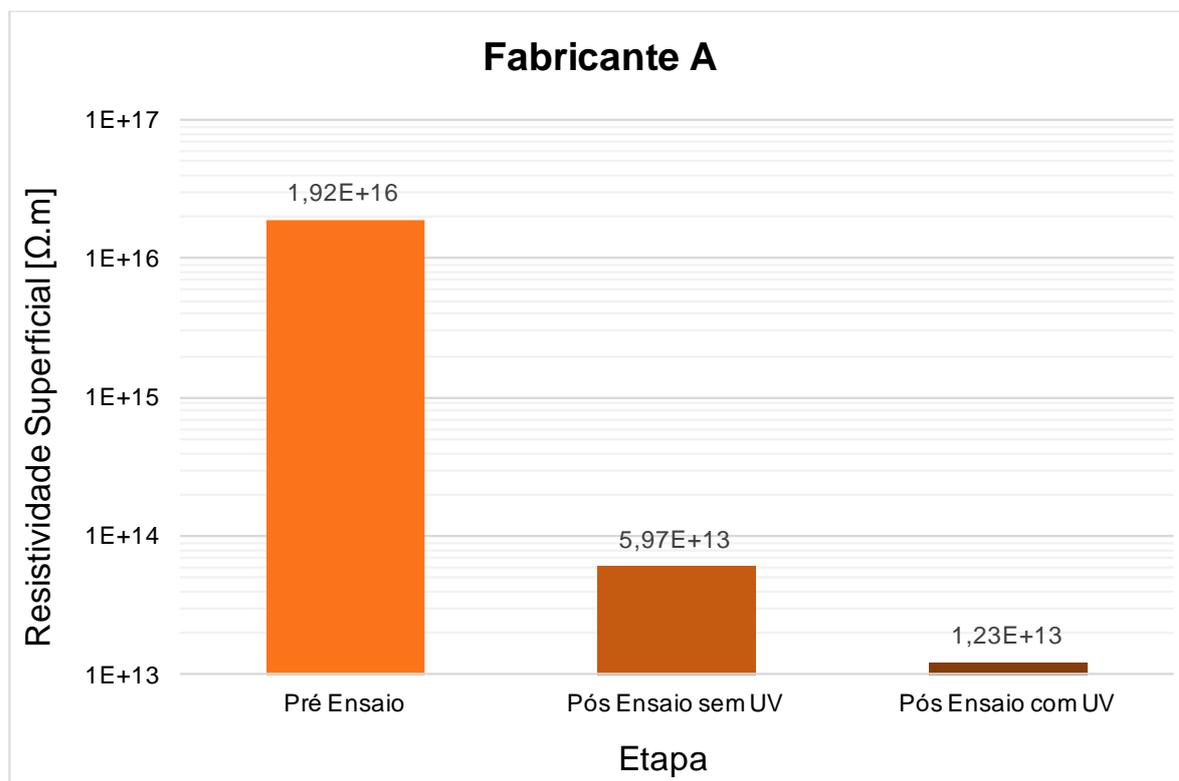


FONTE: Os autores (2018).

4.3.3 Resistividade Superficial

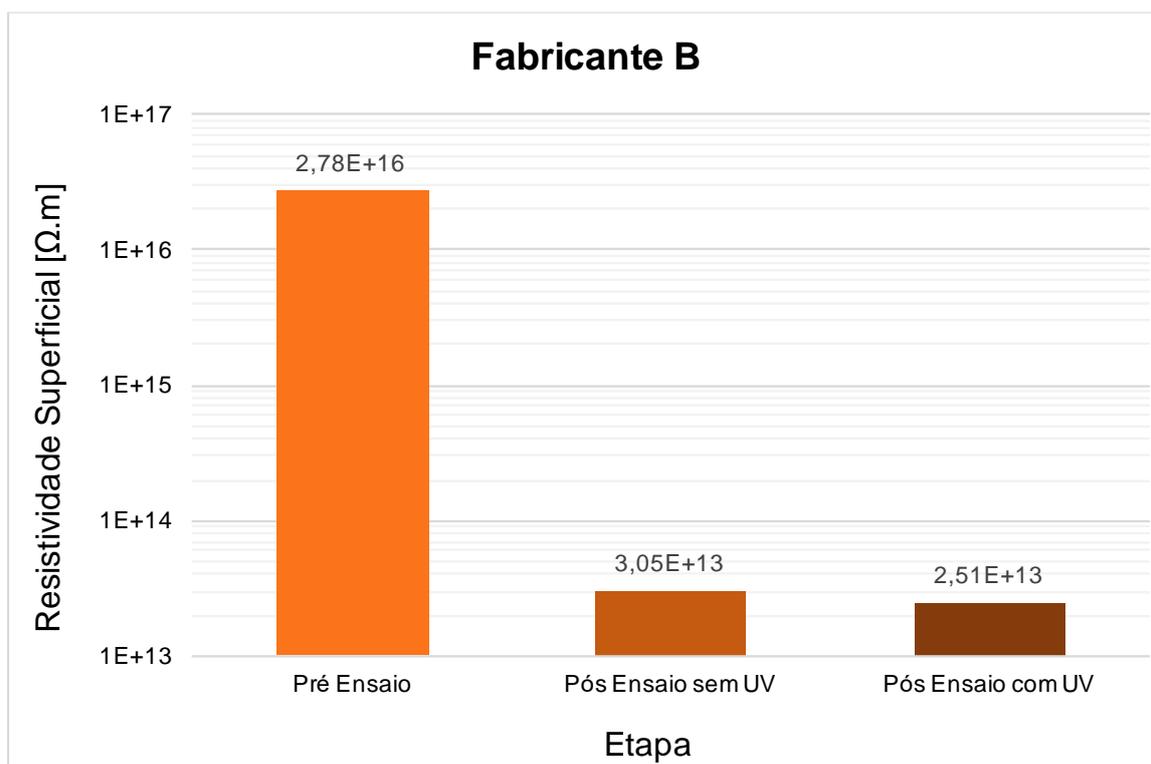
As medidas de resistividades foram efetuadas nos três fabricantes, pré e pós o ensaio de Roda de Trilhamento, com e sem aplicação de luz UV. Em cada avaliação foram coletadas cinco medidas de resistividade superficial e calculada a média entre os valores obtidos (APÊNDICE C – DADOS DO ENSAIO DE RESISTIVIDADE SUPERFICIAL). Da FIGURA 70 a FIGURA 72 são apresentados os resultados de cada fabricante.

FIGURA 70 - RESISTIVIDADE SUPERFICIAL FABRICANTE A



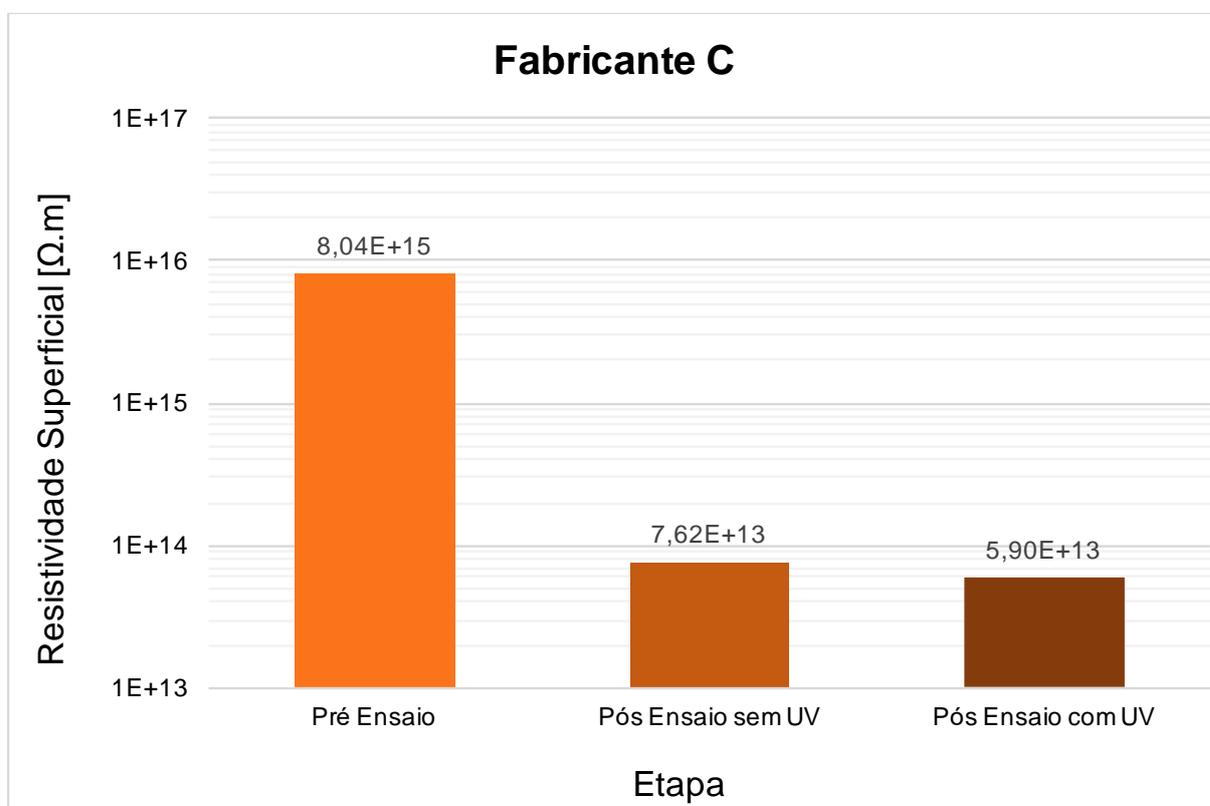
FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 71 - RESISTIVIDADE SUPERFICIAL FABRICANTE B



FONTE: Os autores (2018).

FIGURA 72 - RESISTIVIDADE SUPERFICIAL FABRICANTE C

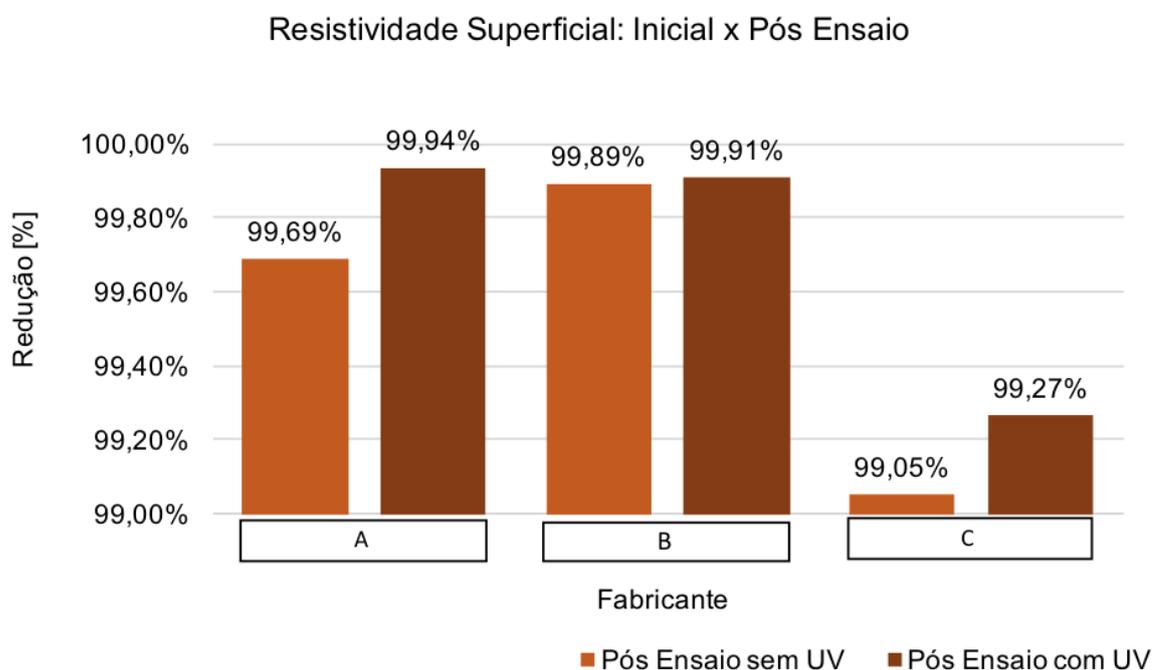


FONTE: Os autores (2018).

Foi observada uma grande variação na resistividade superficial das amostras, onde as que receberam radiação UV tiveram uma diminuição mais expressiva desses valores do que as que não receberam a radiação.

Comparando a resistividade inicial e pós ensaio, é possível concluir que ela teve grande influência do ensaio da Roda de Trilhamento. Nas três marcas houve uma redução maior que 90% do seu valor medido inicialmente, ver FIGURA 73.

FIGURA 73 - RESISTIVIDADE SUPERFICIAL: INICIAL X PÓS ENSAIO



FONTE: Os autores (2018).

Os isoladores do fabricante A e C tiveram desempenhos piores à exposição da radiação UV quando comparados com o fabricante B, que não teve influência tão grande dessa radiação. Esse fato pode ter ocorrido devido a existência de materiais aditivos na sua composição, sendo assim eles possuem maior resistência à radiação UV e poluição.

Em contrapartida, o isolador do fabricante C, que tinha o menor valor da resistividade superficial no início, acabou com o maior valor após o ensaio de envelhecimento acelerado, nas amostras com e sem exposição à radiação UV. Isso mostra que esse fabricante tem uma maior suportabilidade ao ensaio de envelhecimento acelerado.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Dentro da proposta do estudo, foi feito um levantamento de artigos, livros e normas acerca de temas que envolvem o trabalho. Isso foi essencial para o desenvolvimento da metodologia, execução dos ensaios e avaliação dos dados recolhidos.

No ensaio de Roda de Trilhamento, foi possível acrescentar as lâmpadas de radiação UV e coletar dados da corrente de fuga, sem comprometer os requisitos mínimos da norma. Depois de passarem por esse ensaio, as amostras apresentaram mudança de tonalidade. As que receberam radiação UV apresentaram um valor de corrente de fuga maior além de erosões e escamações perceptíveis visualmente.

A partir do ensaio de hidrofobicidade, notou-se que a classe de molhabilidade alterou de CM 1 para CM 4 nas amostras que não sofreram radiação ultravioleta e para CM 5 para as que receberam radiação ultravioleta. Com isso conclui-se que todas as amostras tiveram sua hidrofobicidade diminuída, dificultando o escoamento da água. A retenção dessas gotas, aumenta a probabilidade de ocorrer a passagem de corrente.

No ensaio MEV, utilizou-se a ampliação de 250 vezes para obter uma visão mais ampla da superfície das amostras. Observou-se que os isoladores, após passarem pelo envelhecimento acelerado, obtiveram uma maior rugosidade. As amostras que receberam luz UV, tiveram uma degradação ainda maior, apresentando grande deformidades e buracos na sua superfície.

Com base nos resultados do ensaio de resistividade superficial, todas as amostras tiveram uma diminuição de mais de 90% dos valores iniciais, principalmente as que receberam radiação UV. Os isoladores dos fabricantes A e C tiveram um pior desempenho à exposição a radiação UV quando comparadas ao do fabricante B. Em relação a simulação de envelhecimento acelerado, o que teve maior resistência foi o isolador do fabricante C.

A partir desses resultados, conclui-se que o ensaio modificado de Roda de Trilhamento apresentou um desempenho satisfatório, apenas em relação a corrente de fuga não foi possível chegar a valores conclusos, sendo necessário ajustes para obter dados mais assertivos.

Novos ensaios devem ser realizados nesse protótipo para verificar a repetibilidade dos resultados e validar o procedimento adotado neste trabalho como uma metodologia de avaliação de isoladores poliméricos. Portanto, é interessante aprimorar a forma que é feita a aquisição da corrente de fuga.

Futuramente, sugere-se a análise de espaçadores, para raios e outros dispositivos semelhantes, com o propósito de avaliar seu desempenho quando expostos a intemperes ambientais, também é possível análise de novas estruturas de radiação ultravioleta, como lâmpadas fluorescentes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. 5ª. ed. Salt Lake City, Itcih: LTC, 1999.

ABNT NBR 16326 - **Isoladores poliméricos para alta-tensão, para uso externo e interno - Ensaio de trilhamento e erosão, pelo método da roda de trilhamento e pelo ensaio de 5 000 h**, 2014

ABNT IEC/TS 62073- **Guia da medição da hidrofobicidade nas superfícies de isoladores**, 2010.

LOOMS, J. S. T. **Insulators for High Voltages**. London: Peter Peregrinus, 1988.

GORUR, R. S; CHERNEY, E. A.; BURNHAM, J. T. **Outdoor Insulators**. Ravi Gorur Inc., 1999.

HACKAM, R. **Outdoor HV Composite Insulators**. IEEE TDEI, v. 6, p. 557-585, 1999.

ANDERSSON, J.; GUBANSKI, S. M.; HILLBORG, H.; **Electric Performance of Interfaces in Outdoor Insulation Systems**. IEEE TDEI, v. 15, n. 8, p. 1360-1367, 2008.

PRABU, R. R. et al. **IEEE TDEI**, v. 14, n. 5, p. 1207-1214, 2007.

PRABU, R. R. et al. **IEEE TDEI**, v. 15, n. 3, p. 771-781, 2008.

FELDMAN, D.; **Polymeric Building Materials**. Elsevier Applied Science, 1989.

WILLIAMS, D.I et al. **Formation and Characterization of Dry Bands in Clean Fog on Polluted Insulators**. Cardiff: IEEE, 1999. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/798129/>>. Acesso em: 17 set. 2017.

BRYDSON, John Andrew; **Plastics Materials**, 7ª Edição, ISBN 0750641320, 1999.

WHITE, J. R.; RABELLO, M. S.; **Fotodegradação do Polipropileno. Um Processo Essencialmente Heterogêneo**, 1997

EL-HAG A. M.; MEYER L. H.; NADERIAN A., **Experience With Salt-Fog and Inclined-Plane Tests for Aging Polymeric Insulators and Materials**, 2010

GILL P., **Electrical Power Equipment Maintenance and Testing**, 2ª Edition, page 32, 2008

SARAIVA, D. B., **Isolantes e dielétricos**, in **Materiais Elétricos**, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p.98-107, 1988.

MAMEDE, J. F. **Manual de equipamentos elétricos**, v. 1 e 2, 3ª edição, LTC Editora, 2005.

OLESKOVICZ, M. **Qualidade da energia - fundamentos básicos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2004.

HOLTZHAUSEN, JP; VOSLOO WL. **High Voltage Engineering Practice and Theory**

PAGLIARDI, O.; DIAS, J. C. S. **Evolução Do Setor Elétrico: Uma Breve Reflexão**. In: Interciência e Sociedade. V.1, nº 1 (2011). Faculdade Municipal Professor Franco Montoro, Mogi Guaçu, 2011.

GARCIA, Amauri ; ALVARES SPIM, Jaime; SANTOS A. D. **Ensaio dos Materiais**. 2. ed. ABDR, 2012.

HACKAM, R. **Outdoor HV Composite Polymeric Insulator**. IEEE TDEI, vol. 6, n. 5, p. 557-560, 1999.

BRANDÃO, D. P. L, **Tecnologia da Electricidade – Materiais usados em Electrotecnia**, Fundação Calouste Gulbenkian, 2003

STÉFANO, F. S., **Estudo das Técnicas de Inspeção de Redes de Distribuição para Identificação e Classificação de Defeitos em Isoladores Através do Uso do Ultrassom**, 2015

GORUR, R. S.; CHERNEY, E. A.; BURNHAM, J. T. **Outdoor insulators**. Phoenix, 1999, 262 p

LIU, K. N. 1980. **An introduction to atmospheric radiation**. Academic Press Inc., 392 p.

ANDRADY, A.L., H.S. HAMID e A. TORIKAI. 2003. **Effects of climate change and UV-B on materials**. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2, 68-72.

DIFFEY, B.L. 1991. **Solar ultraviolet radiation effects on biological systems**. *Phys. Med. Biol.*, 36(3), 299- 328.

World Health Organization. (2003). **Sun protection: a primary teaching resource**. Disponível em: <<http://www.who.int/uv/publications/en/primaryteach.pdf>> Acessado em 10/04/2018.

OKUNO, E.; VILELA, M. A. C. **Radiação ultravioleta: características e efeitos**. 1Ed – São Paulo: Editora Livraria da Física: Sociedade Brasileira de Física, 2005.

BISNATH, S. et al. **The Fundamentals and Practice of Overhead Line Maintenance**. África do Sul: Crown Publications cc, 2006

American society for testing and materials. electrical insulating materials. 1376. ED. BALTIMORE: ASTM, 2000.

MALIK, N. H. **Electrical insulation in power systems.** Power engineering. Marcel dekker, 1998.

DOI, H. ET AL. **Cabos cobertos com XLPE para Linhas Aéreas de Distribuição.** Mundo Elétrico, p. 90-93, 1987.

XIDONG, L. ET AL. **Development of Composite Insulators in China.** IEEE TDEI, vol. 6, n. 5, p. 586-594, 1999.

YOSHIMURA, N.; KUMAGAI, S.; DU, B. **Research in Japan on the Tracking Phenomenon of Electrical Insulating Materials.** IEEE-EIM, vol. 13, n. 5, p. 8-19, 1997.

PINHEIRO, W. A **Corrente de Fuga como Parâmetro Indicativo do Estado de Degradação de Materiais Poliméricos de Rede Compacta de Média Tensão, Instalados em Ambientes Agressivos.** Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 247. 2008.

CONEJO, Antonio J.; GOMEZ-EXPOSITO, Antonio; CAÑIZARES, Claudio. **Sistemas de Energia Elétrica: Análise e Operação.** 1. ed. LTC, 2011. 554 p.

MALISKA, A. M. **Microscopia eletrônica de varredura.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. 2010.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras.** PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL. 2007

COPEL. **Metodologia de manutenção preventiva para definir a periodicidade da substituição de equipamentos e acessórios poliméricos**

usados em redes aéreas protegidas, COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, Projeto de P&D PD2866-0274/2012.

PAVLIK, B.L. **Tecnologia da ferragem para linhas de AT e EAT**. São Paulo: Edições Gente, 1989.

GIROTTI, E. M.; SANTOS, I. A. **Medidas de resistividade elétrica dc em sólidos: como efetuá-las corretamente**. Química Nova, v. 25, n. 1, p. 639-647, 2002.

Normas padrão ASTM número: D257-99. Consultar <<http://www.astm.org>>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT IEC/TS 60815-1:2014: Seleção e dimensionamento de isoladores para alta-tensão para uso sob condições de poluição Parte 1: Definições, informações e princípios gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

DE MELLO D. R.; COSTA Jr. R. T. D.; BATISTA J. T.; MELO M. E. **Avaliação do Grau de Poluição em Instalações de Transmissão, Subestações e Distribuição**. 2003.

KOLTZENBURG, S. **Polymer Chemistry**, Springer, 2017. 584 p.

GULMINE, J. V. **Análise do polietileno submetido ao envelhecimento acelerado**. Curitiba. 1999

RODRIGUES, L. P. S. **Efeitos do Envelhecimento Ambiental Acelerado em Compositos Poliméricos**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2007.

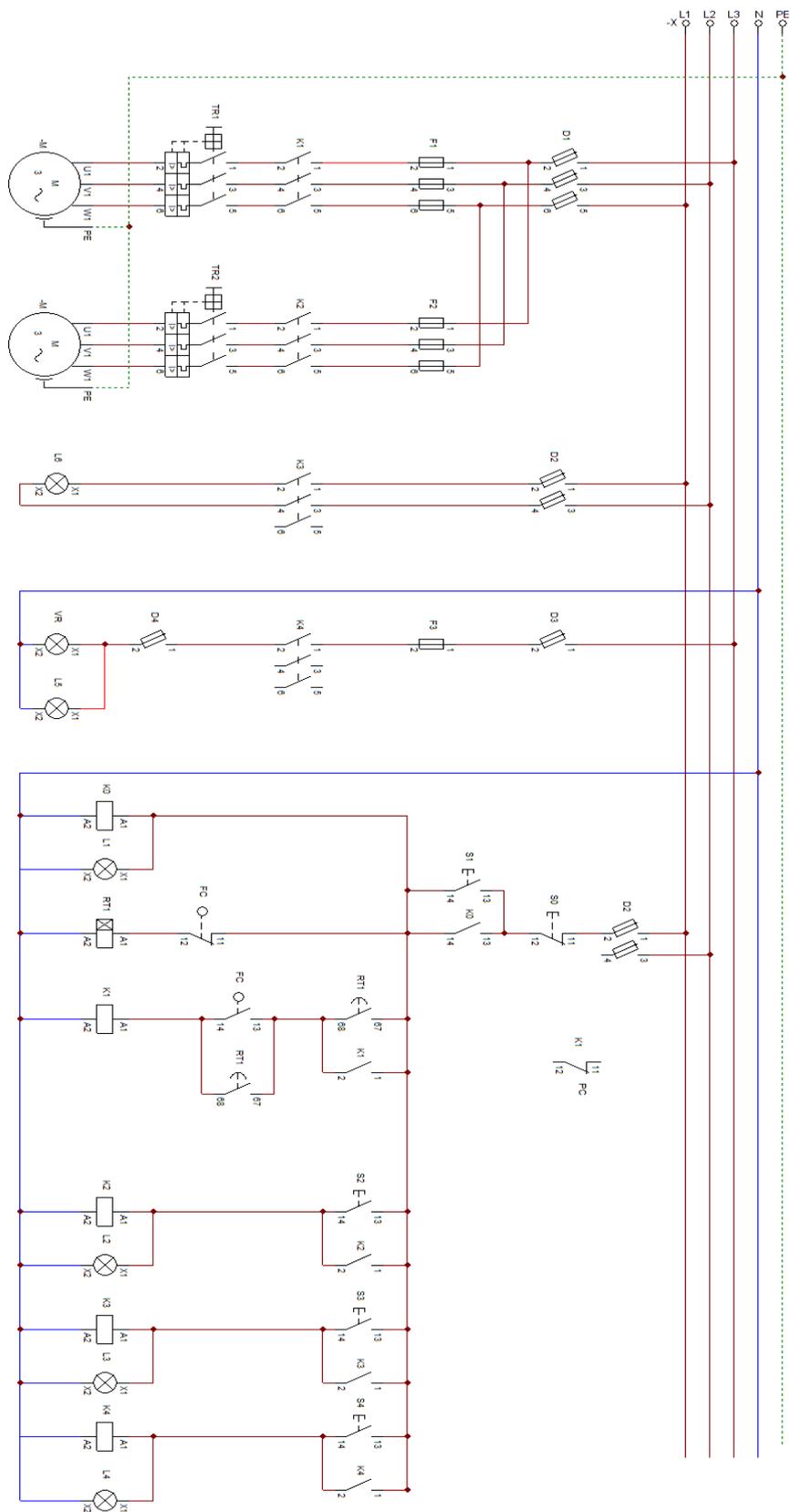
CRQ - SP. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**. [S.l.]. 2013.

Melco, Group of Electrical Factories. Disponível em: <<http://www.melcohk.com/en/insulators/>>. Acessado em: 15/04/2018.

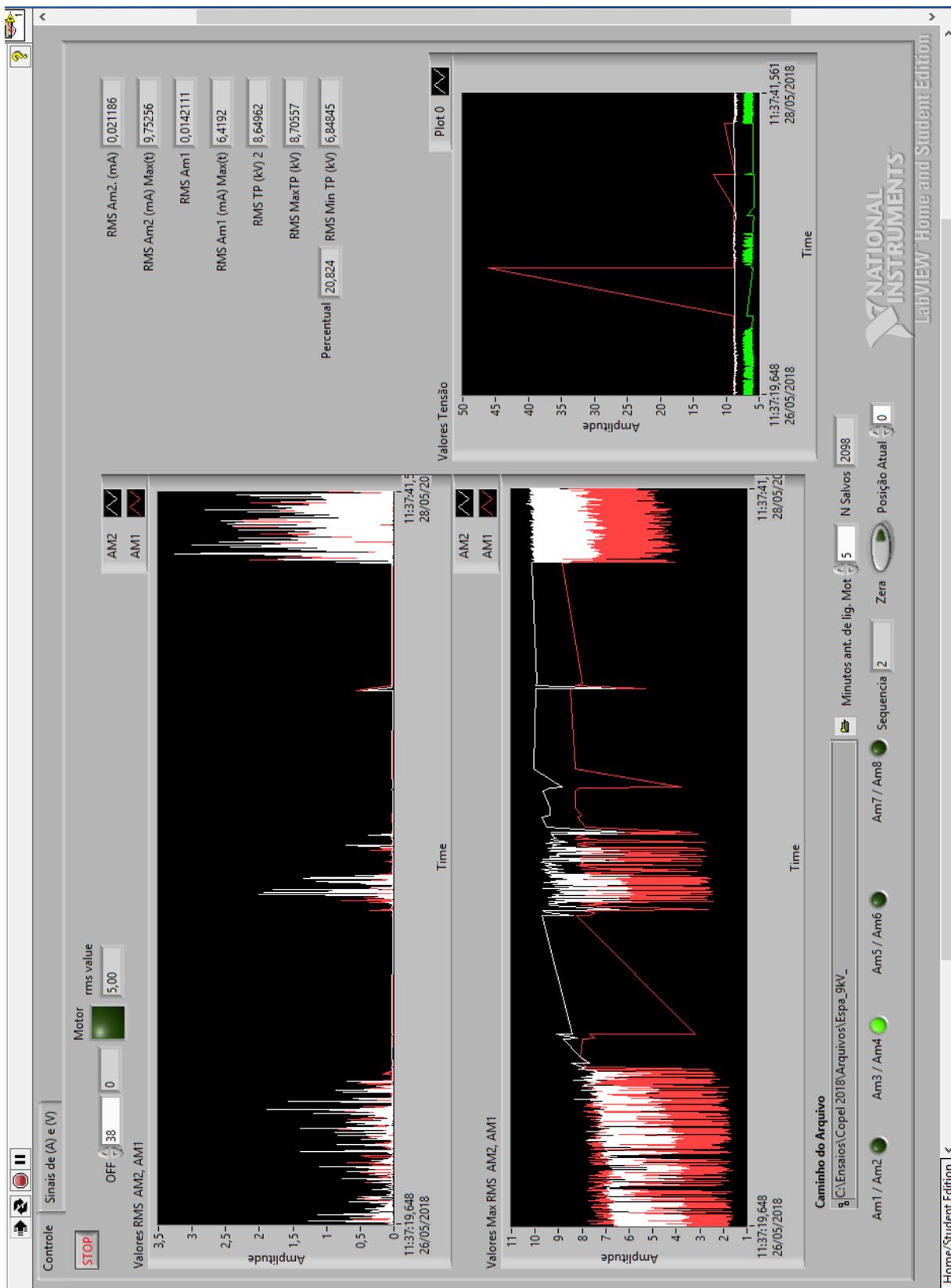
Interativa, QUINT. Disponível em: <<http://qnint.s bq.org.br/novo/>>. Acessado em: 23/05/2018.

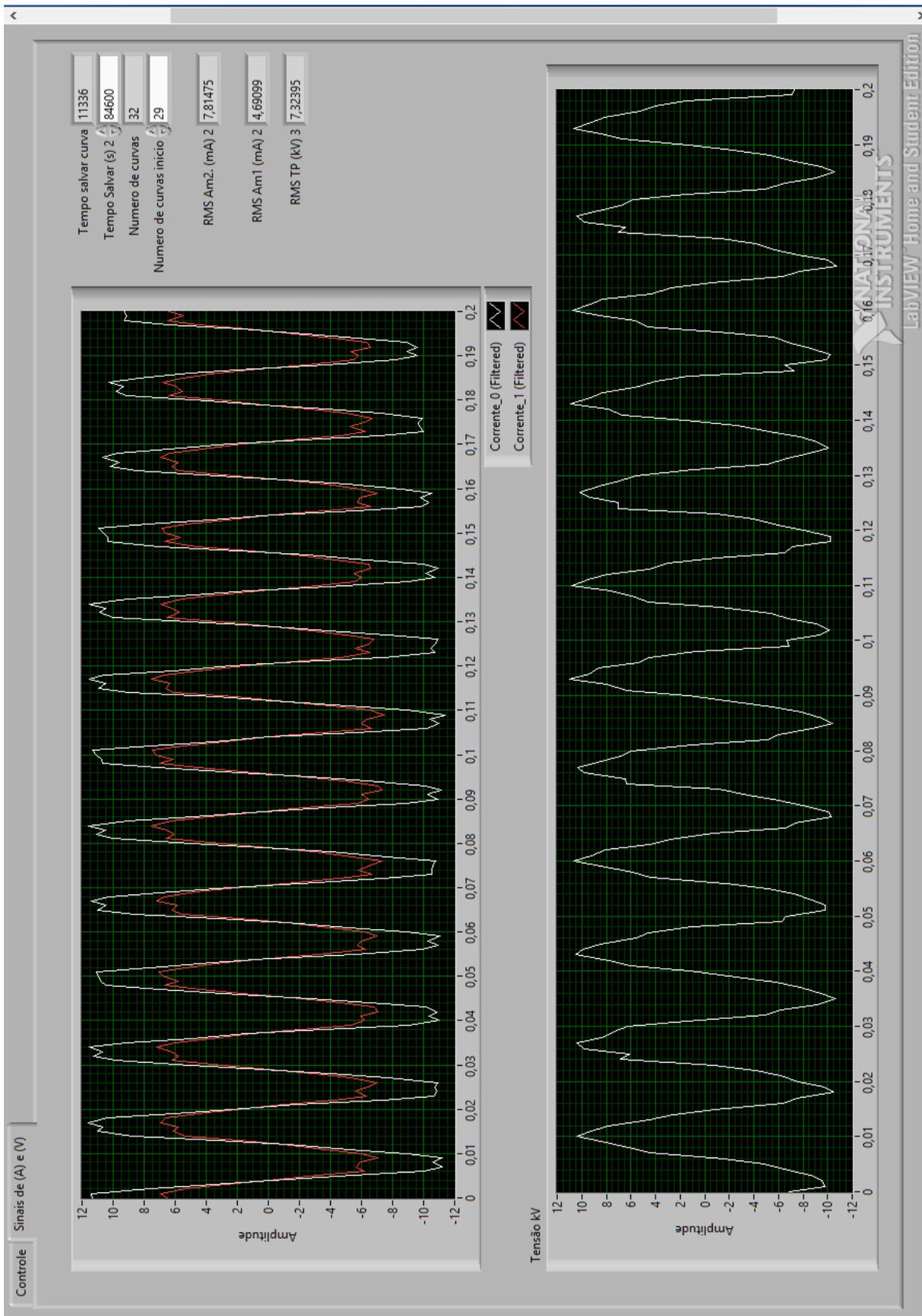
ENERGYPRO, Renewable energy Projects. Disponível em: <<https://www.energypro-site.com/geracao-distribuida>>. Acessado em: 23/03/2018.

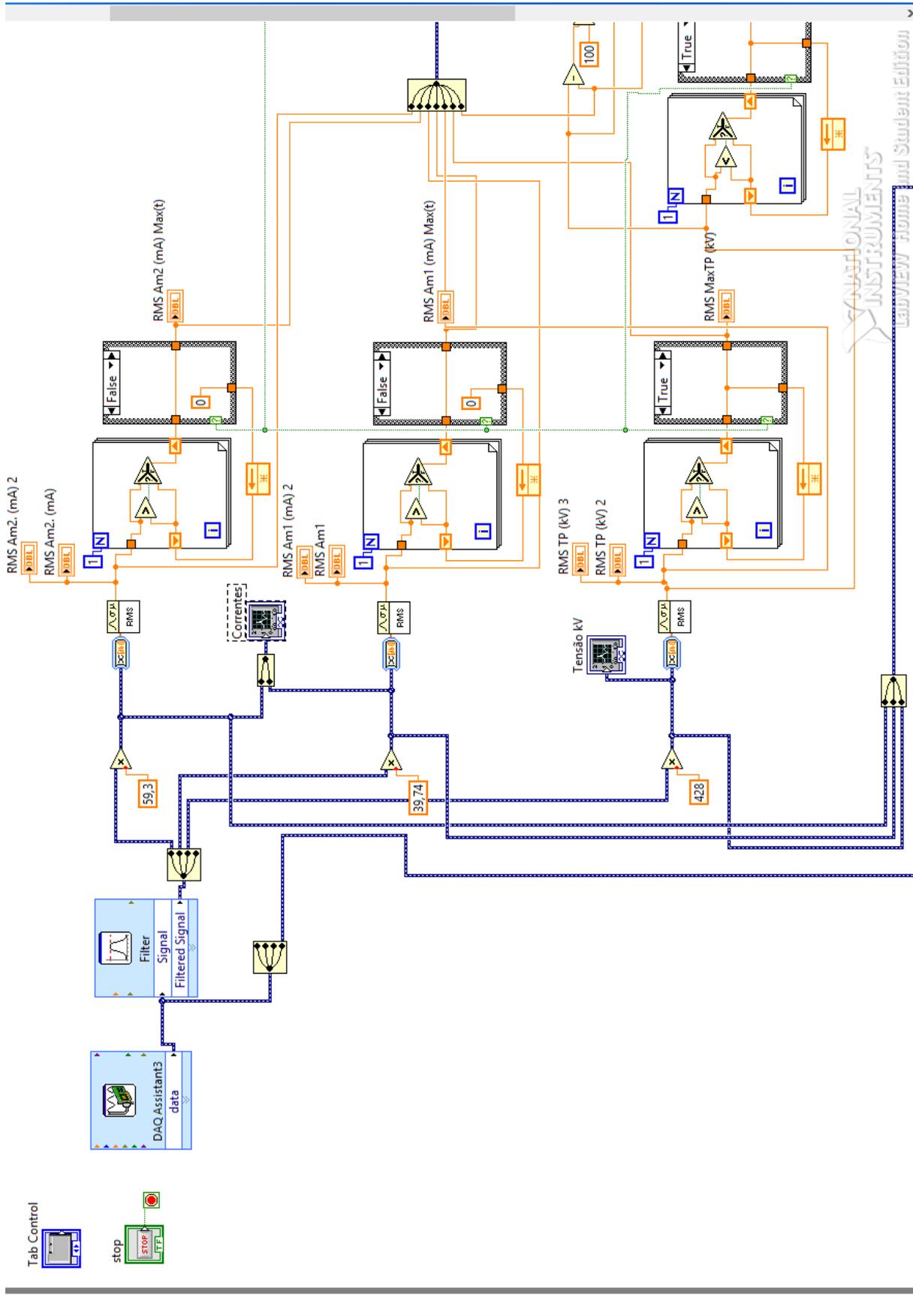
APÊNDICE A – DIAGRAMA ELÉTRICO DO PAINEL DE CONTROLE

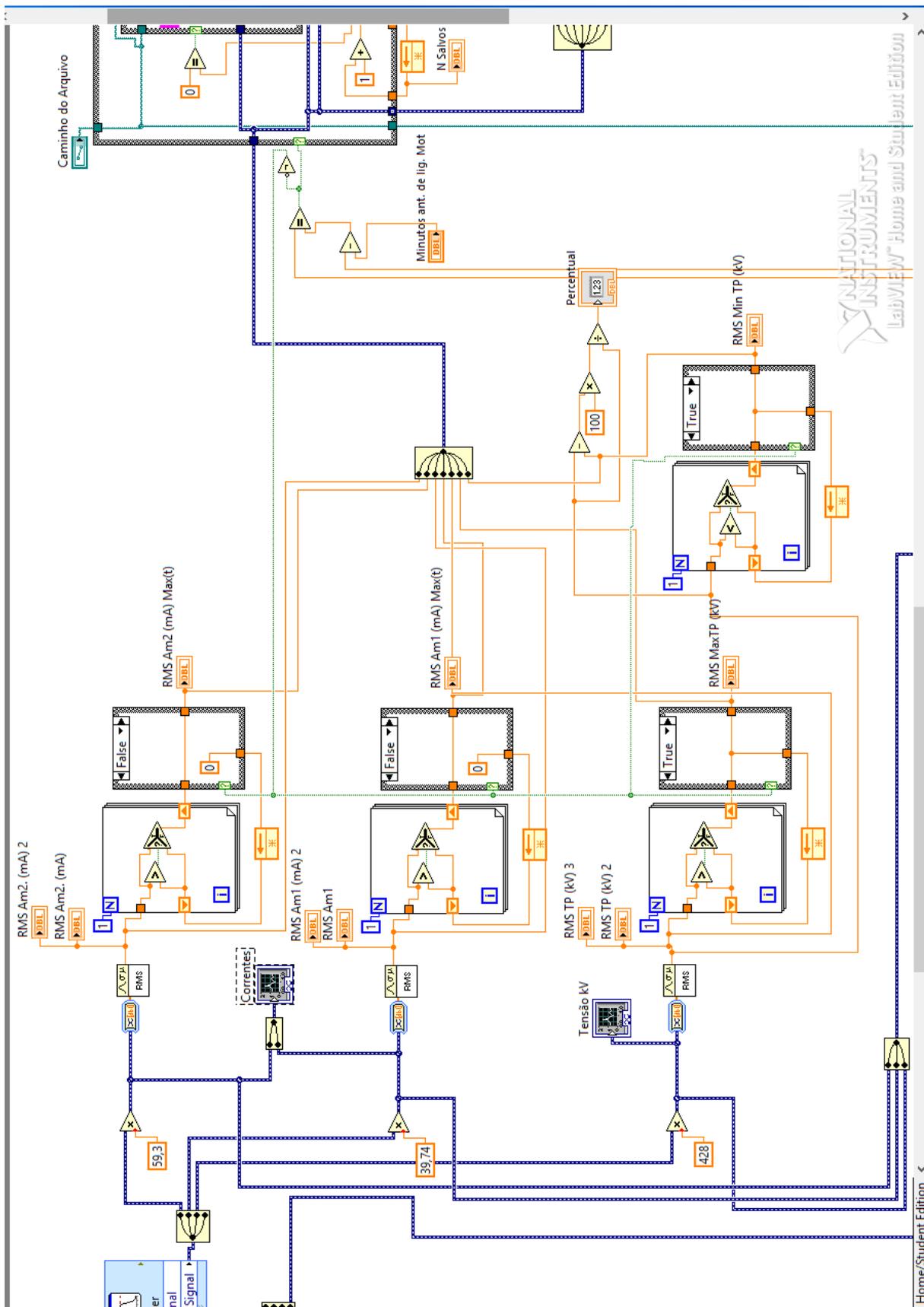


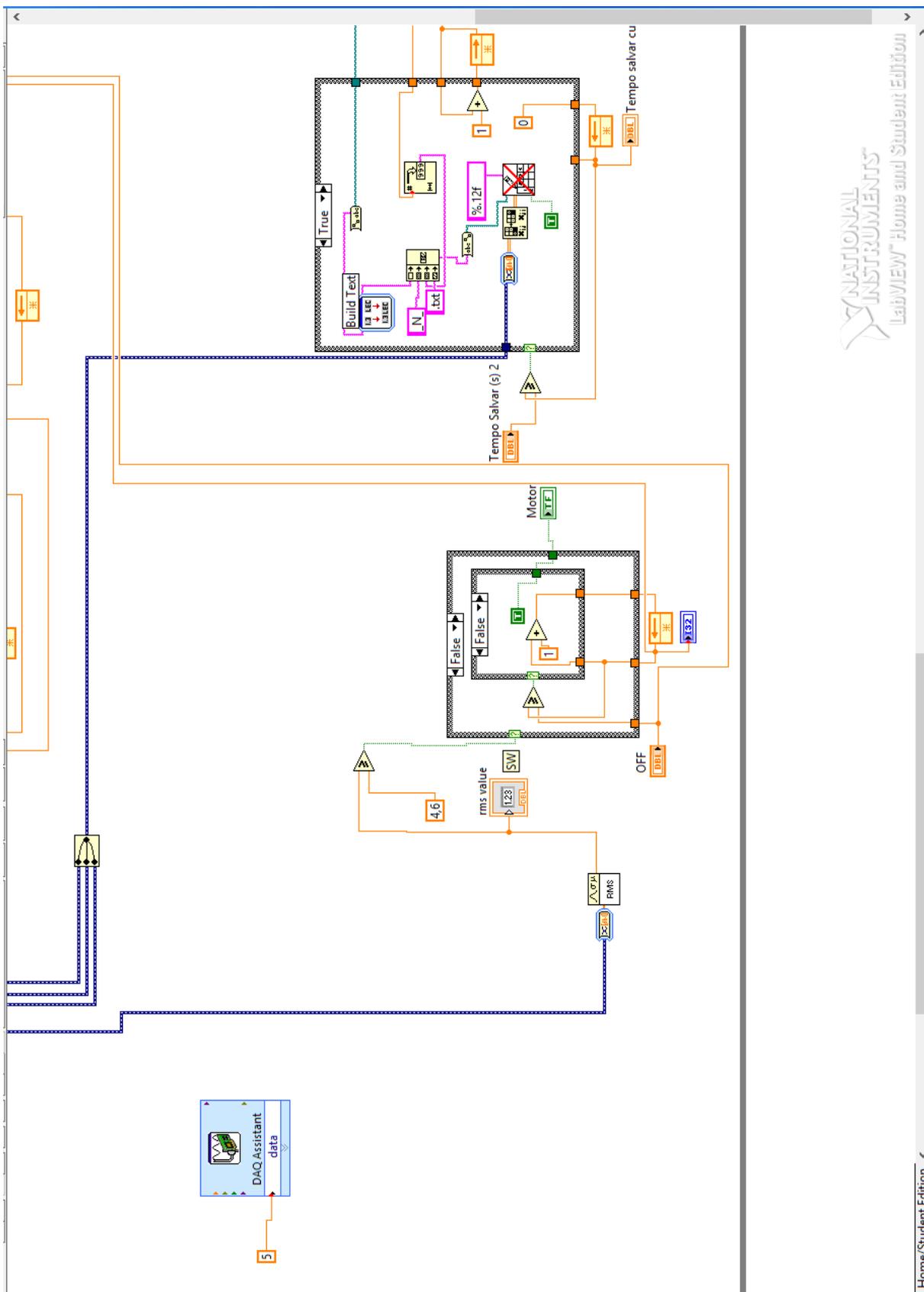
APÊNDICE B – INTERFACE E DIAGRAMA DE BLOCOS NO LABVIEW













stop 



Express Task



Connection Diagram

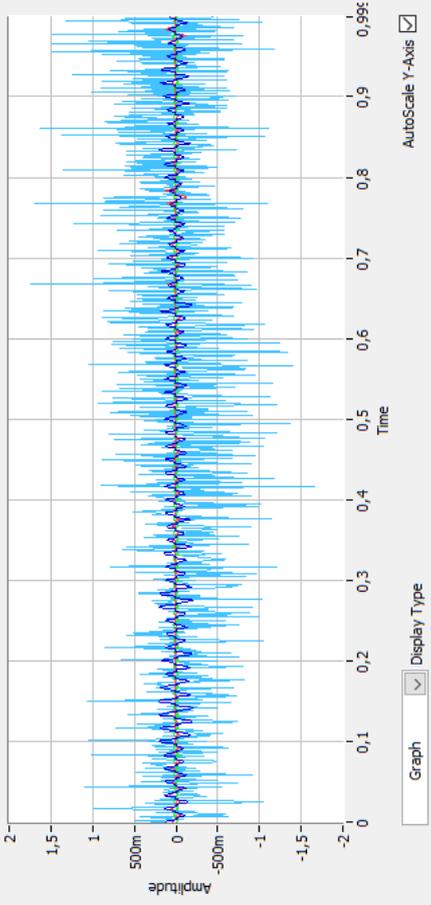
Measuring Voltage

Most measurement devices are designed for measuring, or reading, voltage. Two common voltage measurements are DC and AC.

DC voltages are useful for measuring phenomena that change slowly with time, such as temperature, pressure, or strain.

AC voltages, on the other hand, are waveforms that constantly increase, decrease, and reverse polarity. Most powerlines deliver AC voltage.

This graph displays the analog signals acquired or generated by the device.



Configuration
Triggering
Advanced Timing
Logging

Voltage Input Setup

Channel Settings

- Corrente_0
- Corrente_1
- Tensão
- Switth

Settings Calibration

Signal Input Range

Max 10

Min -10

Scaled Units Volts

Terminal Configuration

RSE

Custom Scaling <No Scale>

Timing Settings

Acquisition Mode Continuous Samples

Samples to Read 1k

Rate (Hz) 1k

OK
Cancel





APÊNDICE C – DADOS DO ENSAIO DE RESISTIVIDADE SUPERFICIAL

ENSAIO DE RESISTIVIDADE SUPERFICIAL			
	Pré Ensaio	Pós Ensaio sem UV	Pós Ensaio com UV
FABRICANTE A	1,8248E+16	6,8820E+13	1,2908E+13
	1,3518E+16	8,1103E+13	1,1711E+13
	5,7824E+16	4,9377E+13	1,2021E+13
	1,9056E+00	4,6355E+13	1,1417E+13
	6,2650E+15	5,2821E+13	1,3209E+13
MÉDIA	1,9171E+16	5,9695E+13	1,2253E+13
FABRICANTE B	1,4557E+16	3,4947E+13	2,4692E+13
	6,9098E+16	2,8755E+13	2,3913E+13
	1,7067E+16	3,1994E+13	2,5241E+13
	2,6165E+16	2,8045E+13	2,4692E+13
	1,2100E+16	2,8755E+13	2,6726E+13
MÉDIA	2,7797E+16	3,0499E+13	2,5053E+13
FABRICANTE C	8,6428E+15	5,0474E+13	5,2821E+13
	7,8290E+15	1,3354E+14	6,1383E+13
	8,0725E+15	5,6780E+13	4,7320E+13
	9,9081E+15	4,9377E+13	5,5397E+13
	5,7229E+15	9,0830E+13	7,8308E+13
MÉDIA	8,0351E+15	7,6200E+13	5,9046E+13