

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

JOSÉ HELTON TAVARES MAIA

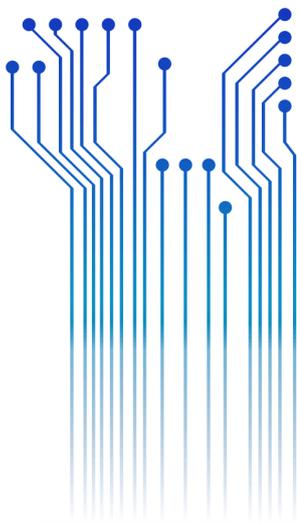


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO  
VALE VERDE EMPREENDIMENTOS LTDA - RN



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2017

JOSÉ HELTON TAVARES MAIA

VALE VERDE EMPREENDIMENTOS LTDA - RN

*Relatório de Estágio Integrado submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Máquinas Elétricas

Orientador:

Professor Luis Reyes Rosales Montero, D. Sc.

Campina Grande  
2017

JOSÉ HELTON TAVARES MAIA

VALE VERDE EMPREENDIMENTOS LTDA - RN

*Relatório de Estágio Integrado submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Luis Reyes Rosales Montero, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família e amigos que me acompanharam nesta etapa da minha vida, me dando apoio e suporte.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e que me permitiu concluir este trabalho.

Agradeço também a minha mãe, Fátima, e ao meu pai, Júnior por sempre acreditarem em meus sonhos, por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e me dando forças para nunca desistir dos meus objetivos.

Agradeço também a meu irmão, Thales, e a minha irmã, Soérgila, pelos conselhos, amor e carinho afetuoso, por sempre me ouvir e me ajudar quando preciso. Não teria conseguido essa vitória sem vocês.

Agradeço aos queridos amigos, Welch, Ewerton, Joaquim, Hέλvio, Alan, Fidelis e Ana Carolina, que tanto me ajudaram nesse longo percurso. Serei eternamente grato pelo companheirismo de vocês.

Agradeço a todos os funcionários da empresa Vale Verde Empreendimentos LTDA, em que eu tive o prazer de conviver e aprender os ensinamentos de cada um, irei levar comigo cada palavra e conselho dito. Agradeço em especial: ao coordenador da elétrica, Sirhan Guedes por todo esforço em compartilhar seu conhecimento nos diversos setores elétricos da usina; ao coordenador da instrumentação Valberto Araújo por me ensinar a teoria e prática de automação no processo industrial.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Ter desafios é o que faz a vida interessante e superá-los é o que faz a vida ter sentido.”*

Joshua J. Marine.

## RESUMO

O presente trabalho consiste no relatório de estágio do estudante de engenharia elétrica José Helton Tavares Maia, na empresa Vale Verde Empreendimentos LTDA – RN, Usina de Açúcar e Álcool, além de ser cogeneradora de energia elétrica. Este foi realizado após o cumprimento das atividades propostas, que tiveram como objetivo o entendimento sobre o uso, manuseio e funcionamento dos mais diversos tipos de motores elétricos, assim como as manutenções preventivas em motores e geradores síncronos de alta tensão. Foram seguidas as normas da ABNT relacionadas, a fim de atestar suas características elétricas para um pleno funcionamento. Além das normas e das instruções contidas nos guias de instruções fornecidos pela fabricante dos equipamentos WEG, foram utilizadas técnicas de identificação visual para inspeção de falhas elétricas em motores e geradores elétricos, estas técnicas foram aperfeiçoadas com ajuda dos ensinamentos transmitidos pelos profissionais de empresas como FC servisse e ECOVIS, responsáveis pelas atividades de manutenção.

Palavras-chave: Motores elétricos, geradores elétricos, manutenções preventivas.

## ABSTRACT

The present work consists of the traineeship report of the student of electrical engineering José Helton Tavares Maia, in the Vale Verde Empreendimentos LTDA - RN, Usina de Açúcar e Alcool company, besides being a cogenerator of electric energy. This was accomplished after the accomplishment of the proposed activities, which had as objective the understanding on the use, handling and operation of the most diverse types of electric motors, as well as the preventive maintenances in motors and synchronous generators of high tension. The ABNT standards were followed in order to attest its electrical characteristics for a full functioning. In addition to the standards and instructions contained in the instructions provided by the manufacturer of the WEG equipment, visual identification techniques were used to inspect electrical failures in motors and electric generators, these techniques were improved with the help of the teachings transmitted by professionals of companies such as FC servisse and ECOVIS, responsible for maintenance activities.

**Keywords:** Electric motors, electric generators, preventive maintenance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Vista frontal da usina Vale Verde Unidade Baía Formosa .....	16
<b>Figura 2.</b> Estrutura básica de uma máquina síncrona trifásica .....	18
<b>Figura 3.</b> Rotor cilíndrico de dois polos .....	19
<b>Figura 4.</b> Estator e rotor de um gerador síncrono 25 MW .....	19
<b>Figura 5.</b> Tensão de excitação em máquinas síncronas .....	20
<b>Figura 6.</b> Evolução do motor elétrico. Relação Peso x Potência .....	23
<b>Figura 7.</b> Tipos de motores elétricos .....	24
<b>Figura 8.</b> Componentes do motor de indução trifásico .....	25
<b>Figura 9.</b> Pacote de capas do estator .....	27
<b>Figura 10.</b> Rotor gaiola de esquilo com canais radiais de ventilação .....	27
<b>Figura 11.</b> Rotor bobinado .....	28
<b>Figura 12.</b> Aspecto interno e externo dos termorresistores .....	29
<b>Figura 13.</b> Resistência de aquecimento .....	30
<b>Figura 14.</b> Megôhmetro digital .....	31
<b>Figura 15.</b> Coeficiente de resistência de isolamento aproximado, $K_t$ , para reduzir a metade do isolamento para cada incremento de $10^\circ \text{C}$ na temperatura .	33
<b>Figura 16.</b> Vista geral do gerador .....	35
<b>Figura 17.</b> Placa de identificação principal .....	35
<b>Figura 18.</b> Placa de identificação excitatriz .....	35
<b>Figura 19.</b> Rotor excitatriz sujo .....	36
<b>Figura 20.</b> Excitatriz suja .....	36
<b>Figura 21.</b> Bobinado e estator sujos .....	36
<b>Figura 22.</b> Rotor sujo .....	36
<b>Figura 23.</b> Rotor limpo .....	37
<b>Figura 24.</b> Rotor excitatriz limpo .....	37
<b>Figura 25.</b> Estator limpo .....	37
<b>Figura 26.</b> Secagem do gerador .....	37
<b>Figura 27.</b> Cabos de ligação principal .....	38
<b>Figura 28.</b> Caixa de ligação excitatriz .....	38
<b>Figura 29.</b> Caixa de acessórios .....	38
<b>Figura 30.</b> Resistencia de aquecimento .....	38

<b>Figura 31.</b> Estator sem vedação de ar .....	38
<b>Figura 32.</b> Estator com vedação de ar .....	38
<b>Figura 33.</b> Vista lateral do motor .....	44
<b>Figura 34.</b> Placa de dados do motor .....	44
<b>Figura 35.</b> Caixa de ligação principal .....	45
<b>Figura 36.</b> Caixa de ligação RTD's .....	45
<b>Figura 37.</b> Caixa de ligação resistência aquecimento .....	45
<b>Figura 38.</b> Instruções para tensões CC para aplicação durante o teste de resistência de isolamento .....	46
<b>Figura 39.</b> Evolução da isolação .....	47
<b>Figura 40.</b> Curva tendência isolação do motor .....	48
<b>Figura 41.</b> Medição nas fases U-V, V-W e W-U do estator .....	49
<b>Figura 42.</b> Capacitores para correção do fator de potência .....	51
<b>Figura 43.</b> Vista lateral do motor .....	52
<b>Figura 44.</b> Placa de dados do motor .....	53
<b>Figura 45.</b> Caixa de ligação principal .....	53
<b>Figura 46.</b> Caixa de ligação resistência de aquecimento .....	53
<b>Figura 47.</b> Caixa de ligação sensores de vibração .....	54
<b>Figura 48.</b> Caixa de ligação RTD's .....	54
<b>Figura 49.</b> Evolução da isolação .....	55
<b>Figura 50.</b> Curva tendência isolação do motor .....	56
<b>Figura 51.</b> Medição nas fases U-V, V-W e W-U do estator .....	57
<b>Figura 52.</b> Capacitores para correção do fator de potência .....	59
<b>Figura 53.</b> Terminal utilizado com pouca área de contato .....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Velocidades Síncronas .....	21
<b>Tabela 2.</b> Corrente de alimentação x Fator de serviço .....	28
<b>Tabela 3.</b> Relação da potência das resistências com o tamanho da carcaça .....	30
<b>Tabela 4.</b> Valores de referência para índices de absorção e polarização .....	32
<b>Tabela 5.</b> Valores de tensão contínua para serem aplicadas durante o teste de isolamento .....	32
<b>Tabela 6.</b> Resistência ôhmica do estator principal .....	39
<b>Tabela 7.</b> Resistência ôhmica do rotor principal .....	39
<b>Tabela 8.</b> Resistência ôhmica do rotor excitatriz .....	39
<b>Tabela 9.</b> Resistência ôhmica do estator excitatriz .....	39
<b>Tabela 10.</b> Resistência ôhmica do estator excitatriz auxiliar .....	40
<b>Tabela 11.</b> Teste de diodos .....	40
<b>Tabela 12.</b> Sensores de temperatura .....	41
<b>Tabela 13.</b> Ensaio de isolamento estator principal .....	41
<b>Tabela 14.</b> Ensaio de isolamento rotor principal .....	42
<b>Tabela 15.</b> Isolação do conjunto de excitação .....	42
<b>Tabela 16.</b> Ensaio de isolamento estator principal .....	42
<b>Tabela 17.</b> Ensaio de isolamento rotor principal .....	43
<b>Tabela 18.</b> Isolação do conjunto de excitação .....	43
<b>Tabela 19.</b> Ensaio de isolamento no estator principal .....	47
<b>Tabela 20.</b> Dados realizados nos anos anteriores em $G\Omega$ .....	48
<b>Tabela 21.</b> Resistência ôhmica estator principal .....	49
<b>Tabela 22.</b> Sensores de temperaturas RTD's (PT-100) .....	50
<b>Tabela 23.</b> Valores dos capacitores .....	51

<b>Tabela 24.</b> Medições elétricas da resistência de aquecimento .....	51
<b>Tabela 25.</b> Ensaio de isolamento no estator principal .....	54
<b>Tabela 26.</b> Dados realizados nos anos anteriores em GΩ .....	56
<b>Tabela 27.</b> Resistência ôhmica estator principal .....	57
<b>Tabela 28.</b> Sensores de temperaturas RTD's (PT-100) .....	58
<b>Tabela 29.</b> Valores dos capacitores .....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A.C.	Corrente Alternada
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CV	Cavalo Vapor
D.C.	Corrente Contínua
RPM	Rotação por minuto
Hz	Hertz

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 OBJETIVOS DO ESTÁGIO .....	14
1.2 VALE VERDE EMPREENDIMENTOS LTDA – RN .....	15
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2 EMBASAMENTO TEÓRICO</b> .....	17
2.1 GERADORES ELÉTRICOS SÍNCRONOS .....	17
2.1.1 ASPECTOS CONSTRUTIVOS .....	17
2.1.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	20
2.1.3 COMPONENTES PRINCIPAIS .....	21
2.2 MOTORES ELÉTRICOS .....	22
2.2.1 EVOLUÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS .....	22
2.2.2 TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS MAIS UTILIZADOS .....	23
2.2.3 MOTOR ELÉTRICO DE INDUÇÃO TRIFÁSICO .....	24
2.2.4 PROTEÇÃO TÉRMICA DE MOTORES ELÉTRICOS .....	28
2.2.5 EQUIPAMENTOS E NORMAS UTILIZADAS .....	31
<b>3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES</b> .....	34
3.1 ACOMPANHAMENTO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA ELÉTRICA NO GERADOR SÍNCRONO 15 MW .....	34
3.1.1 DESMONTAGEM, LIMPEZA, SECAGEM E REMOTAGEM .....	35
3.1.2 MEDIÇÕES ELÉTRICAS – RESISTÊNCIA ÔHMICA .....	39
3.1.3 MEDIÇÕES ELÉTRICAS – RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO .....	41
3.2 ACOMPANAMENTO DA MANUTENÇÃO ELÉTRICA PREVENTIVA NO MOTOR DE ACIONAMENTO DA BOMBA DE ÁUA DA CALDEIRA .....	43
3.2.1 INSPEÇÃO VISUAL .....	45
3.2.2 INSPEÇÃO ELÉTRICA – ENSAIOS DE ISOLAÇÃO .....	46
3.2.3 INSPEÇÃO ELÉTRICA – RESISTÊNCIA ÔHMICA DAS BOBINAS .....	49

3.2.4	INSPEÇÃO ELÉTRICA – VERIFICAÇÃO DOS PT-100.....	50
3.2.5	INSPEÇÃO ELÉTRICA – VERIFICAÇÃO DOS CAPACITORES E DA RESISTÊNCIA DE AQUECIMENTO.....	51
3.3	ACOMPANAMENTO DA MANUTENÇÃO ELÉTRICA PREVENTIVA NO MOTOR DESFIBRADOR.....	52
3.3.1	INSPEÇÃO VISUAL .....	53
3.3.2	INSPEÇÃO ELÉTRICA – ENSAIOS DE ISOLAÇÃO .....	54
3.3.3	INSPEÇÃO ELÉTRICA – RESISTÊNCIA ÔHMICA DAS BOBINAS.....	56
3.3.4	INSPEÇÃO ELÉTRICA – VERIFICAÇÃO DOS PT-100.....	57
3.3.5	INSPEÇÃO ELÉTRICA – VERIFICAÇÃO DOS CAPACITORES .....	59
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este relatório tem como objetivo apresentar a experiência de estágio integrado do estudante José Helton Tavares Maia, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), que foi realizado na Vale Verde Empreendimentos Agrícolas, sob supervisão do Engenheiro Ítalo de Almeida.

O estágio integrado referido teve início no dia 23 de maio de 2017 e encerrou no dia 15 de setembro de 2017 totalizando 660 horas como requerido nos termos desta instituição.

O estágio tem caráter obrigatório e o cumprimento de sua carga horária é requisito para aprovação e obtenção de diploma de bacharel em engenharia elétrica. A finalidade do estágio é integrar o saber acadêmico à prática profissional, incentivando o reconhecimento de habilidades e competências adquiridas dentro e fora do ambiente escolar, permitindo ao aluno adquirir consciência do seu perfil e que possa reconhecer necessidade de retificação de aprendizagem nos conteúdos dos componentes curriculares cursados.

Dentre as atividades realizadas pelo estudante, podem-se destacar:

- i. Acompanhamento da manutenção elétrica preventiva no gerador síncrono de 15 MW, 13.800 V, 60 Hz;
- ii. Acompanhamento da manutenção elétrica preventiva no motor de acionamento da bomba de água da caldeira de 13.800 V, 700 CV;
- iii. Acompanhamento da manutenção elétrica preventiva no motor de acionamento do desfibrador de 13.800 V, 3.500 CV;.

### 1.1 OBJETIVOS DO ESTÁGIO

O estágio teve como objetivos: a inserção do aluno no acompanhamento de manutenções preditivas, feitas por terceiros, como a inspeção elétrica em motores de alta tensão e geradores elétricos, apresentando as técnicas de identificação de falhas elétricas em motores elétricos utilizando inspeção visual e instrumentos de medição, assim como a aplicação de ensaios elétricos de acordo com os padrões da WEG e as normas da NBR 5383 e IEEE43 em motores elétricos de alta tensão.

## 1.2 VALE VERDE EMPREENDIMENTOS LTDA – RN

A Vale Verde Empreendimentos Agrícolas Ltda. é integrante do Grupo Antônio Farias, um dos maiores conglomerados empresariais do Nordeste brasileiro. A indústria atua no segmento de açúcar, álcool e cogeração de energia através do bagaço da cana de açúcar.

A trajetória do Grupo Farias é marcada pela capacidade empreendedora do seu fundador, o Dr. Antônio Farias, falecido em 1988. Grupo busca incessantemente a excelência na qualidade dos serviços prestados e dos bens produzidos por suas empresas. Sua filosofia empresarial alicerça-se na ética, na responsabilidade social e na eficiência do processo produtivo. Iniciou suas atividades em 1978, apenas com a fabricação de álcool, na safra de 2003/2004 passou também a produzir açúcar, na safra 2011/2012, expandiu sua exportação de energia, com a parceria com o grupo CPFL Energia.

Sua capacidade de produção é:

- Moagem: 7.500 a 8.000 toneladas de cana ao dia, em média 300 toneladas por hora, sendo que a cada tonelada de cana é produzido em média 330 Kg de bagaço;
- Açúcar: em média 8.000 sacos por dia, embalagens de big bags de 1.200 Kg, sacos de 50 Kg e saquinhos de 1 Kg em fardos de 30 Kg;
- Álcool: por dia temos em média de 10.000 a 40.000 L de álcool hidratado carburante e 250.000 a 360.000 L de álcool anidro carburante, chegando a um total de 300.000 a 500.000 L por dia a produção;
- Geração de vapor e energia: são 200 toneladas de vapor por hora, com energia gerada de 40 MW/h, sendo em média 12 MW/h para o consumo próprio da indústria e 28 MW/h para a venda.



Figura 1: Vista frontal da usina Vale Verde Unidade Baía Formosa

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1, faz-se a apresentação do local onde foi realizado o estágio e os objetivos contemplados pelo mesmo.

No Capítulo 2 é feito uma revisão bibliográfica com os principais assuntos que serviram de base para o desenvolvimento das atividades.

No Capítulo 3 é feito uma descrição detalhada das atividades desenvolvidas no estágio.

Por fim é feita uma conclusão, com uma breve análise do que foi apresentado nos capítulos anteriores.

## 2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Nesta seção é apresentada a fundamentação teórica, apresentando os principais assuntos que serviram de guia e de conhecimento, indispensáveis para a realização do estágio.

### 2.1 GERADORES ELÉTRICOS SÍNCRONOS

Máquinas síncronas são utilizadas, primariamente, como geradores de potência elétrica. Neste caso elas são denominadas de “geradores síncronos” ou “alternadores”. Elas são usualmente grandes máquinas geradoras de potência elétrica instaladas em plantas (usinas) hidrelétricas, nucleares ou termelétricas.

Os geradores síncronos são acionados por turbinas hidráulicas ou a vapor. No caso das turbinas a vapor, a fonte primária de energia é utilizada na produção do vapor, o que pode ser feito por queima de combustível (carvão, óleo, gás, renovável ou nuclear).

As usinas térmicas utilizam vapor produzido em caldeiras que queimam algum tipo de combustível. No caso da biomassa, por exemplo, a energia primária está originalmente na forma de energia potencial química e é transformada, pela queima, em energia térmica do vapor aquecido e em alta pressão que, por sua vez, produz energia mecânica de rotação ao passar pelas paletas da turbina. Desse ponto de vista, não existe grande diferença entre os vários tipos de fonte primária utilizados na produção de vapor, pois, até mesmo no caso das usinas nucleares, esse mecanismo básico continua válido. Os geradores síncronos acionados por turbinas a vapor normalmente têm polos lisos e funcionam em rotações relativamente altas quando comparados com turbinas hidráulicas, e conseqüentemente fazendo-se com que o número de polos seja relativamente menor que no caso de turbinas hidráulicas.

#### 2.1.1 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Basicamente, uma máquina síncrona é composta de duas partes: estator, ou armadura e rotor. O estator de uma máquina síncrona trifásica tem um enrolamento trifásico distribuído, similar a uma máquina de indução trifásica.

O enrolamento do estator, o qual é conectado a um sistema de suprimento AC, é denominado de “enrolamento de armadura” ou “enrolamento de estator”, e é designado para tensões e correntes alternadas elevadas.

O rotor é equipado com um enrolamento excitado com corrente contínua DC, denominado “enrolamento de campo”, que age como um eletroímã, ou seja, produz um fluxo magnético constante por pólo. Quando o rotor gira e o enrolamento de campo é excitado com corrente contínua, por meio de anéis deslizantes e escovas, um campo magnético girante aparece no entreferro da máquina, entre o rotor e a armadura. Como a armadura é constituída por um enrolamento trifásico uma força eletromotriz (FEM) variável no tempo é gerada pelo campo magnético, com base nos princípios da Lei de Faraday.

A estrutura básica de uma máquina síncrona está ilustrada a seguir:

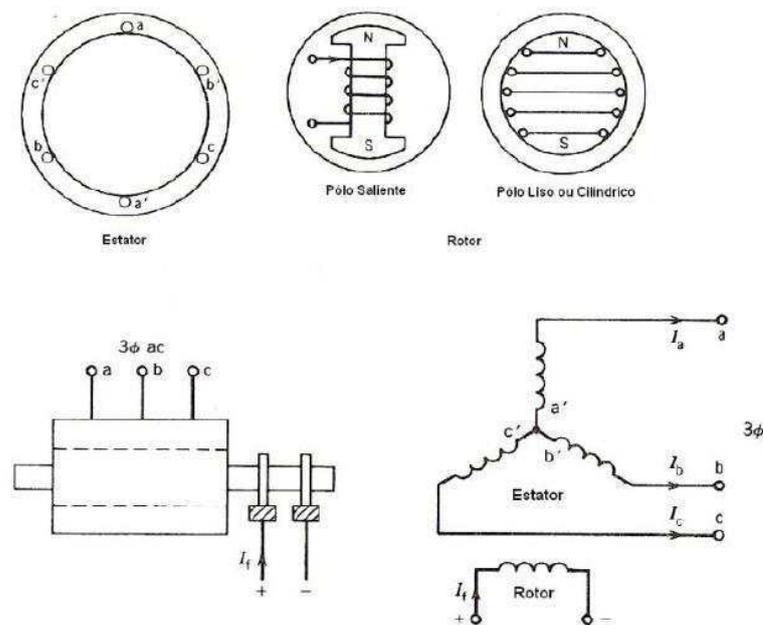


Figura 2: Estrutura básica de uma máquina síncrona trifásica

Os enrolamentos de armadura de um gerador trifásico podem ser associados em estrela ou triângulo. A ligação “estrela” é utilizada na maioria dos geradores dos sistemas de energia elétrica. Geralmente, o neutro é aterrado neste tipo de ligação sendo este aterramento feito através de uma resistência ou reatância cuja finalidade é a de reduzir a corrente de curto circuito.

Com relação a seu rotor, as máquinas síncronas são construídas com dois tipos de rotores: “rotor cilíndrico” ou de “pólos lisos” que são acionados por turbinas a vapor com

velocidade de 3.000 rpm ou 3.600 rpm (50 ou 60Hz, respectivamente), conforme mostrado na figura 3 a seguir:

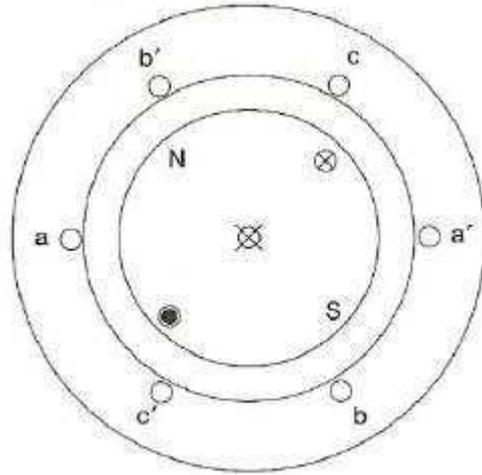


Figura 3: Rotor cilíndrico de dois polos. O ponto preto indica que o sentido positivo da corrente está dirigido para fora do plano do papel. A cruz indica que o sentido positivo da corrente está dirigido para dentro do plano do papel

Os “rotores cilíndricos”, ou de “polos lisos”, têm um enrolamento de campo distribuído em ranhuras construídas axialmente ao longo do comprimento do rotor, e um entreferro essencialmente uniforme. Esses rotores, construídos com dois ou quatro polos, são usados em geradores de grande potência (na faixa de MW) e são geralmente acionados por turbinas a vapor de alta velocidade (turbo-geradores).



Figura 4: Estator e rotor de um gerador síncrono 25 MW

A eficiência dos geradores é muito importante. Geradores síncronos em plantas de potência podem atingir 99% de eficiência. Isto significa que para uma máquina de 600 MW que possui essa eficiência, produz 6 MW de calor, portanto, essa máquina precisa ser refrigerada.

Grandes turbo-geradores em plantas térmicas são refrigerados por meio de hidrogênio ou água. O hidrogênio tem sete vezes a capacidade de calor em relação ao ar, e a água doze vezes. O hidrogênio ou a água fluem através de cavidades específicas no interior dos enrolamentos do estator. A refrigeração equaliza a distribuição da temperatura no gerador, porque pontos quentes de temperatura afetam o ciclo de vida da isolamento elétrica. A evolução dos grandes turbo-geradores tem sido determinada por melhores materiais e técnicas de refrigeração sofisticadas.

### 2.1.2 Princípio de Funcionamento

Conforme a figura 5, e assumindo que uma corrente de campo ( $I_f$ ) flua através do enrolamento de campo do rotor, e que o rotor seja acionado por uma máquina primária (turbina ou motor diesel ou DC, ou motor de indução), será estabelecido um fluxo senoidal distribuído no entreferro, ou seja, um campo girante estabelecido por um fluxo é produzido no entreferro. Este campo é denominado “campo de excitação”, porque ele é produzido por uma corrente de excitação contínua ( $I_f$ ). O fluxo girando, produziria, então, variações pelos enrolamentos do estator  $aa'$ ,  $bb'$  e  $cc'$ , e como consequência, haveria a indução de tensões em seus terminais. Estas tensões induzidas, conforme figura 05b, tem a mesma magnitude, mas estão defasadas de  $120^\circ$  elétricos, e são denominadas de “tensão de excitação ( $E_g$ )”.

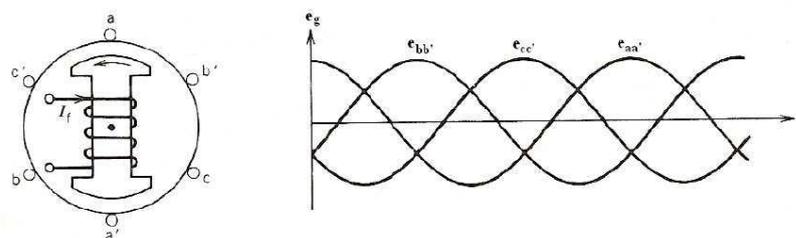


Figura 5: Tensão de excitação em máquinas síncronas

Para uma máquina de um par de pólos, a cada giro das espiras teremos um ciclo completo da tensão gerada. Os enrolamentos podem ser construídos com um número maior de pares de pólos, que se distribuirão alternadamente (um norte e um sul). Neste caso, teremos um ciclo a cada par de pólos. Sendo "n" a rotação da máquina em "rpm" e "f" a frequência em ciclos por segundo (Hertz) teremos:

$$f = \frac{p \cdot n}{120}$$

Onde:

f = frequência (Hz);

p = número de pólos;

n = rotação síncrona (rpm).

Note que o número de pólos da máquina terá que ser sempre par, para formar os pares de pólos. Na tabela 1 são mostradas, para as frequências e polaridades usuais, as velocidades síncronas correspondentes.

<b>Número de pólos</b>	<b>60 Hz</b>	<b>50 Hz</b>
2	3600	3000
4	1800	1500
6	1200	1000
8	900	750
0	720	600

Tabela 1: Velocidades Síncronas

### 2.1.3 Componentes Principais

- i. Estator: Componente fixo onde estão alojados os enrolamentos denominados enrolamentos de armadura;
- ii. Rotor: Componente girante, acoplado mecanicamente ao eixo da turbina, o rotor acomoda o enrolamento de campo, cujos pólos são formados por pacotes de chapas. Uma gaiola de amortecimento também é montada no rotor para compensação nos serviços em paralelo e variações de carga;

- iii. Estator da excitatriz principal: A excitatriz principal é um gerador trifásico de pólos salientes. O seu estator pode ser fixado na tampa traseira do gerador e dentro dele, ou é posicionado fora da máquina e é fixado na tampa traseira ou na base do gerador, dependendo da sua forma construtiva. Os pólos salientes acomodam as bobinas de campo, que são ligadas em série, sendo sua extremidade conectada ao regulador de tensão diretamente ou através de bornes na caixa de ligação da excitatriz;
- iv. Rotor da excitatriz principal e diodos retificadores girante: O rotor da excitatriz principal é montado sobre o eixo da máquina principal. O rotor é laminado e suas ranhuras abrigam um enrolamento trifásico ligado em estrela. O ponto comum desta ligação estrela é inacessível. De cada ponto da ligação estrela saem dois fios para os retificadores girantes, assentados os suportes dissipadores. Dos dois fios, um é ligado ao retificador sobre o suporte positivo e o segundo, ao mesmo retificador sobre o suporte negativo.
- v. Excitatriz auxiliar: A excitatriz auxiliar ou PMG (Permanent Magnets Generator) é um gerador trifásico com rotor constituído por imãs, que são seus pólos de excitação, acoplado ao eixo da máquina principal. O estator, constituído de chapas, possui um enrolamento trifásico para alimentação do regulador de tensão.

## 2.2 MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos desempenham um papel de fundamental importância no progresso da sociedade, eles são o coração das máquinas modernas e estão presentes em praticamente todas as instalações indústrias, comerciais e residenciais.

### 2.2.1 EVOLUÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS

O desenvolvimento de condutores esmaltados, dos papéis ou filmes isolantes sintéticos, das chapas magnéticas, das ligas de alumínio e dos materiais plásticos contribuíram notoriamente para a redução da relação peso x potência dos motores elétricos como mostra a Figura 6.

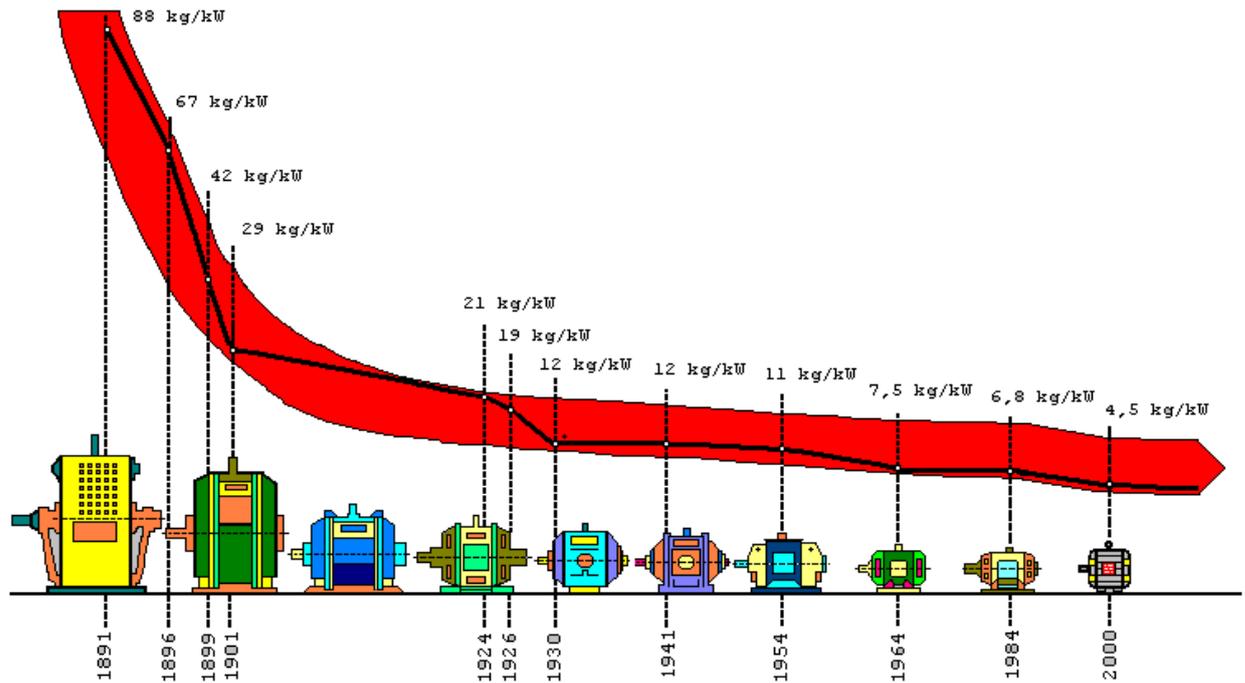


Figura 6: evolução do motor elétrico. Relação Peso x Potência (motor trifásico de 4kW e 2 pólos)

Observando-se o peso de um motor de mesma potência no decorrer do tempo, pode-se verificar que o motor atual tem apenas 8% do peso do seu antecessor em 1891.

Confrontando-se os dados de catálogos de diferentes fabricantes, em diferentes épocas, pode-se constatar que houve uma redução do peso e, conseqüentemente, redução do tamanho construtivo do motor (para uma mesma potência) de aproximadamente 20% a cada década, excetuando as duas últimas, nas quais a redução foi menos acentuada. Esta evolução tecnológica é caracterizada principalmente, pelo desenvolvimento de novos materiais isolantes, os quais suportam temperaturas mais elevadas (WEG, 2016).

### 2.2.2 TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS MAIS UTILIZADOS

Atualmente os motores elétricos estão presentes em praticamente todas as instalações industriais, comerciais e residenciais. Exemplos são os minúsculos motores que acionam os discos rígidos dos computadores, a infinidade de motores que acionam nossos eletrodomésticos e os gigantes motores que movimentam bombas, compressores, ventiladores, moinhos, extrusoras e outras infinidades de aplicações. Com isso, é necessitado uma grande variedade de motores elétricos, como mostra a figura 7.

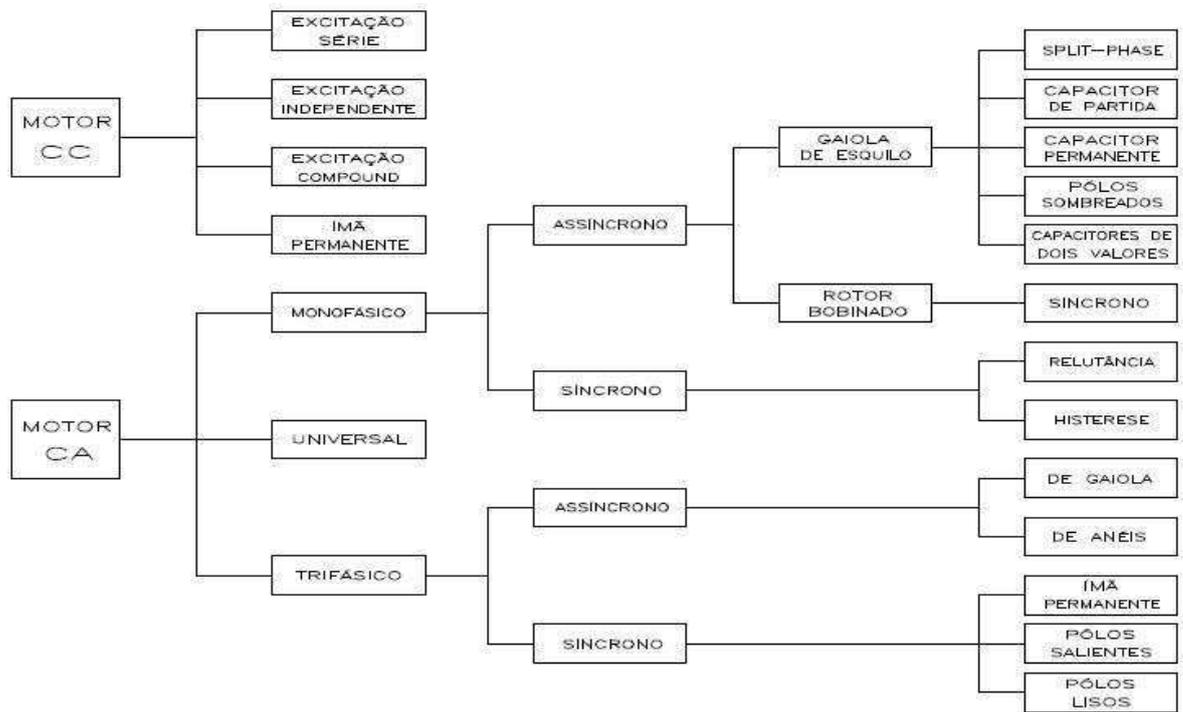


Figura 7: Tipos de motores elétricos

O processo de especificação de um motor elétrico corresponde à escolha de um motor industrialmente disponível que possa atender a pelo menos três requisitos do consumidor:

- Característica da rede de alimentação: (tipo, tensão, frequência, simetria, equilíbrio, etc.);
- Característica do ambiente: (altitude, temperatura, aressividade, etc.);
- Característica da carga acionada: (potência, rotação, esforços mecânicos, configuração física, conjugados requeridos, etc.).

### 2.2.3 MOTOR ELÉTRICO DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

O motor elétrico de indução é uma máquina de dupla excitação, na qual uma tensão alternada CA é aplicada a ambos os enrolamentos, ao do estator (armadura) e ao do rotor. A tensão aplicada ao enrolamento da armadura é uma tensão de excitação de frequência (normalmente) constante e de potencial também (normalmente) constante, suprida por um barramento polifásico ou monofásico, da mesma maneira que as máquinas síncronas. A

tensão aplicada ao rotor é uma tensão induzida, de frequência e potencial variáveis, produzida como consequência da velocidade do rotor em relação à velocidade síncrona (WEG, 2016).

Podemos citar dentre suas vantagens:

- Limpeza e simplicidade de comando;
- Construção simples e custo reduzido;
- Grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos.

O motor de indução trifásico opera normalmente com uma velocidade constante, devido a sua simplicidade e robustez é um motor muito utilizado, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas. A vantagem do motor de indução com rotor de gaiola de esquilo em comparação ao rotor bobinado é que este resulta numa construção de induzido mais rápida, mais prática e mais barata, não exigindo coletor, reduzindo, portanto, a quantidade de componentes no motor.

O motor de indução trifásico é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor, como podemos ver na figura 8.

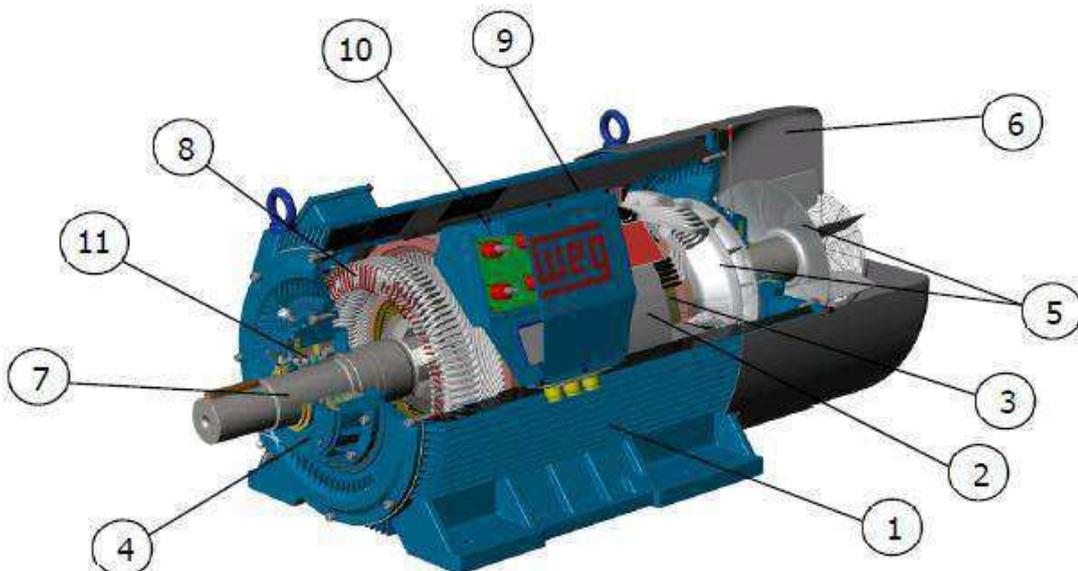


Figura 8: Componentes do motor de indução trifásico

Estator:

- Carcaça (1): é a estrutura suporte do conjunto de construção em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e normalmente com aletas;

- Núcleo de chapas (2): chapas de aço magnético (geralmente em aço-silício), tratadas termicamente e com a superfície isolada para reduzir ao mínimo as perdas no ferro;
- Enrolamento trifásico (8): três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico equilibrado ligado à rede trifásica de alimentação.

Rotor:

- Eixo (7): em aço, transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor, é tratado termicamente para evitar problemas com empenamento e fadiga;
- Núcleo de chapas (3): possuem as mesmas características das chapas do estator;
- Gaiola ou enrolamento do rotor (12): é composto de barras e anéis de curto-circuito no motor tipo gaiola e de bobinas em motor tipo anéis.

Outras partes:

- Tampa do mancal (4);
- Ventilador interno e externo (5);
- Tampa defletora ou proteção do ventilador (6);
- Caixa de ligação de força (9);
- Placa de bornes com isolador e pino de ligação (10);
- Rolamento (11).

O Estator é constituído por um empacotamento de chapas de ferro magnético silicioso, com baixa densidade de perdas magnéticas que forma o circuito magnético estático. As chapas possuem uma forma de coroa circular ranhurada na periferia interior e são revestidas de um verniz isolante. As ranhuras são semifechadas, e destinam-se a conter os condutores do circuito elétrico estático. Entre o conjunto de chapas magnéticas podem existir canais de ventilação, que servem para a passagem do ar de refrigeração (WEG, 2016).



Figura 9: Pacote de capas do estator

O rotor também é construído com o mesmo tipo de chapa magnética utilizada no núcleo estatórico. As chapas magnéticas têm a forma de coroas circulares que possuem ranhuras perto da periferia exterior. O número de ranhuras rotóricas está ligada ao número de ranhuras estatóricas para se evitar o aparecimento de ruído no funcionamento do motor.

O rotor pode ser do tipo "gaiola de esquilo", ou pode ser bobinado. O rotor em gaiola de esquilo é constituído por uma gaiola de alumínio, dopado de uma pequena percentagem de impurezas, trata-se de um circuito elétrico polifásico em curto-circuito permanente, constituído com um material com uma resistividade muito menor do que o material ferromagnético em que está envolvido. Quando o circuito rotórico é em cobre, as barras de cobre são colocadas manualmente nas ranhuras e os anéis de topo são ligados às barras por soldadura a alta frequência, as barras são travadas nas ranhuras para evitar vibrações durante o funcionamento do motor de indução trifásico (WEG, 2016).



Figura 10: Rotor gaiola de esquilo com canais radiais de ventilação



Figura 11: Rotor bobinado

#### 2.2.4 PROTEÇÃO TÉRMICA DE MOTORES ELÉTRICOS

Os motores utilizados em regime contínuo devem ser protegidos contra sobrecargas por um dispositivo integrante do motor, ou um dispositivo de proteção independente, geralmente com relé térmico com corrente nominal ou de ajuste, igual ou inferior ao valor obtido multiplicando-se a corrente nominal de alimentação ( $I_n$ ) pelo fator de serviço (Fs), conforme a tabela 2.

Fator de Serviço do Motor (FS)	Ajuste da Corrente do relé
1,0 até 1,15	$I_n \cdot FS$
$\geq 1,15$	$(I_n \cdot FS) - 5\%$

Tabela 2: Corrente de alimentação x Fator de serviço

A proteção térmica é efetuada por meio de termorresistências (resistência calibrada), termistores, termostatos ou protetores térmicos. Os tipos de sensores utilizados são determinados em função da classe da temperatura do isolamento empregado, de cada tipo de máquina e da exigência do cliente. Iremos falar dos termorresistores (PT-100) e resistência de aquecimento.

Termorresistores (PT-100): são sensores de temperatura com princípio de funcionamento baseado na propriedade que alguns materiais que variam a resistência elétrica com a variação de temperatura (geralmente platina, níquel ou cobre). Possuem resistência calibrada que varia linearmente com a temperatura, possibilitando um acompanhamento

contínuo do processo de aquecimento do motor pelo display do controlador, com alto grau de precisão e sensibilidade de resposta. Um mesmo sensor pode servir para alarme (operação acima da temperatura normal de trabalho) e desligamento (geralmente ajustada para a máxima temperatura da classe de isolamento). As resistências dos cabos, dos contatos, etc., podem interferir na medição assim, existem diferentes tipos de configurações que podem ser realizadas buscando minimizar esses efeitos:

- A configuração de dois fios normalmente é satisfatória em locais onde o comprimento do cabo do sensor ao instrumento não ultrapasse 3,0 m para bitola 20 AWG;
- Na configuração de três fios (mais utilizada pela indústria) haverá uma compensação da resistência elétrica pelo terceiro fio;
- Na configuração de quatro fios (montagem mais precisa), existem duas ligações para cada terminal do bulbo (dois cabos para a tensão e dois para a corrente), obtendo-se um balanceamento total de resistências (é utilizada nos casos onde grande precisão é necessária).

A desvantagem dos termorresistores, Figura 12, é que os elementos sensores e os circuitos de controle possuem um alto custo.



Figura 12: Aspecto interno e externo dos termorresistores

Para o PT-100, a temperatura pode ser obtida com a formula a seguir, ou através de tabelas fornecidas pelos fabricantes.

$$t^{\circ} C = \frac{r - 100}{0,385}$$

r – resistência medida em ôhms.

Resistência de Aquecimento: a utilização de resistências de aquecimento, Figura 13, é recomendada em duas situações:

- Motores instalados em ambientes com umidade relativa do ar de até 95%, nos quais o motor poderá ficar desligado por períodos superiores a 24 horas;

- Motores instalados em ambientes com umidade relativa do ar superior a 95%, independente do regime de funcionamento. Ressaltamos que nessa situação também se aplica nas partes internas do motor uma pintura epóxi conhecida como pintura tropicalizada.



Figura 13: Resistência de aquecimento

A tensão de alimentação das resistências de aquecimento deverá ser especificada pelo cliente, que pode ser fornecida para as tensões de 110 - 127 V, 220 – 240 V, 380 – 480 V para todos os tamanhos de carcaça e ainda 110 - 127/220 – 240 V (dupla tensão) para as carcaças 112M até 355A/B. A potência e quantidade de resistências de aquecimento dependem do tamanho do motor e deverão estar em acordo com a Tabela 3:

Carcaça	Quantidade	Potência (W)
63 a 80	1	7,5
90 a 100	1	11
112	2	11
132 a 160	2	15
180 a 200	2	19
225 a 250	2	28
280 a 315	2	70
355	2	87

Tabela 3: Relação da potência das resistências com o tamanho da carcaça

### 2.2.5 EQUIPAMENTOS E NORMAS UTILIZADAS

Na montagem e manutenção de máquinas elétricas torna-se necessário conhecer o estado do isolamento elétrico antes da sua entrada em serviço. Pretende-se conhecer a qualidade de isolamento, que varia com a temperatura, a humidade e outros fatores ambientais. Para isso foi utilizado um aparelho de medida, um ohmímetro de leitura para elevados valores de escala, com o nome de Megôhmetro. Este aparelho de medida indica o valor da resistência de isolamento em megaohms ( $\times 10^6$ ) ou até gigaohms ( $\times 10^9$ ) (MANUEL VAZ GUEDES, 2001).



Figura 14: Megôhmetro digital

A medida da resistência de isolamento deve ser executada com uma tensão elevada, por isso o gerador do megôhmetro pode apresentar nos seus terminais uma tensão de 100 a 15.000 V, conforme o gerador utilizado.

Para efetuar a medida da resistência de isolamento em corrente contínua deve-se ligar o terminal “linha” do megôhmetro no condutor que será feito o ensaio. O outro terminal deve ser ligado ao terra do sistema analisado, no caso de motores este terminal deve ser conectado a sua carcaça. Vale ressaltar que a medida de isolamento da resistência é feita com o circuito fora de tensão.

Além da medição do isolamento da resistência, o megôhmetro nos fornece a informação do índice de polarização e absorção. A finalidade dessas duas medidas é verificar as condições da resistência de isolamento, medindo a isolação do enrolamento em relação à

massa metálica do motor. O motor estando limpo e em boas condições o IP é alto, o motor com sujeira, umidade e/ou graxa na bobinagem, o valor do IP é baixo (Conforme tabela). O procedimento para efetuar esta medição é necessário o uso do megôhmetro onde é aplicada a tensão contínua do megôhmetro (2,5 KV, ou de acordo com a capacidade do aparelho), e após 1 minuto anotamos o valor da resistência, continuamos com a medição após 10 minutos, anotando o novo valor. Temos as seguintes fórmulas para medir os índices de absorção e polarização:

$$I_{ab} = \frac{R_{1 \text{ minuto}}}{R_{30 \text{ segundos}}}$$

$$I_p = \frac{R_{10 \text{ minutos}}}{R_{1 \text{ minuto}}}$$

Segue a tabela com a descrição dos valores dos índices de absorção e polarização:

Índice de Absorção	Índice de polarização	Avaliação do isolamento
-	1 ou menor	Ruim
Abaixo de 1,1	< 1,5	Perigoso
1,1 a 1,25	1,5 a 2,0	Regular
1,25 a 1,4	2,0 a 3,0	Bom
1,4 a 1,6	3,0 a 4,0	Muito Bom
Acima de 1,6 (1)	> 4,0	Ótimo

Tabela 4: Valores de referência para índices de absorção e polarização

As principais normas utilizadas nas atividades realizadas foram a IEEE 43 2000 5.3, IEEE 43 2000 6.3.3, IEEE 43 2000 12.2.2 e IEC 60751.

A norma IEEE 43 2000 5.3 mostra a tabela com os valores de tensão contínua para serem aplicadas durante o teste de isolamento

Winding rated voltage (V) <sup>a</sup>	Insulation resistance test direct voltage (V)
<1000	500
1000–2500	500–1000
2501–5000	1000–2500
5001–12 000	2500–5000
>12 000	5000–10 000

Tabela 5: Valores de tensão contínua para serem aplicadas durante o teste de isolamento

A norma IEEE 43 2000 6.3.3 explicita a aproximação do  $K_t$  para temperatura da resistência. Se os efeitos de temperatura no sistema de isolamento sob teste forem desconhecidos, um valor aproximado para o coeficiente de temperatura  $K_t$  pode ser obtido usando a Figura 5 para redução de metade da resistência para cada incremento de + 10 ° C. Observe que esta é apenas uma aproximação e não deve ser usada para calcular a resistência de isolamento em diferenciais de temperatura muito grandes de 40 ° C ou podem ocorrer erros significativos.

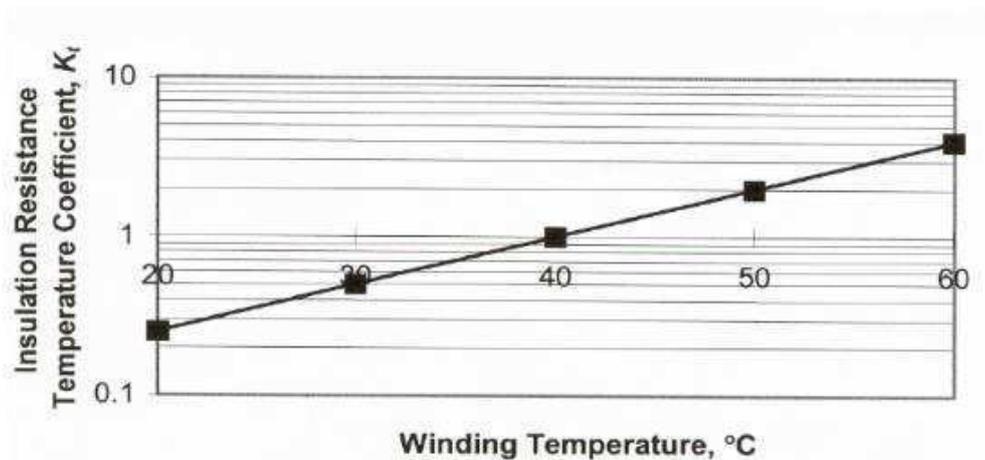


Figura 15: Coeficiente de resistência de isolamento aproximado,  $K_t$ , para reduzir a metade do isolamento para cada incremento de 10° C na temperatura

Podemos também utilizar a seguinte equação:

$$K_T = (0,5)^{(40-T)/10}$$

A norma IEEE 43 2000 12.2.2 fala sobre a aplicabilidade do índice de polarização quando IR1 é superior a 5000 MΩ. Quando a leitura da resistência de isolamento obtida após a aplicação da tensão durante 1 minuto (IR1) é superior a 5000 MΩ, com base na magnitude da tensão direta aplicada, a corrente medida total (IT) pode estar na faixa submicroampères. Neste nível de teste de sensibilidade do instrumento necessário, pequenas mudanças na tensão de alimentação, umidade ambiente, conexões de teste e outros componentes não relacionados podem afetar significativamente a corrente total medida durante o intervalo de 1 a 10 min requerido para um IP. Devido a esses fenômenos, quando o IR1 é superior a 5000 MΩ, o IP pode ou não ser uma indicação da condição de isolamento e, portanto, não é recomendado como ferramenta de avaliação.

### 3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

Nesta seção é apresentada uma descrição detalhada das atividades desenvolvidas durante o período de estágio.

#### 3.1 ACOMPANHAMENTO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA ELÉTRICA NO GERADOR SÍNCRONO 15 MW

Na utilização de um gerador elétrico síncrono são importantes as ações de manutenção, já que prevenindo os defeitos, ou detectando-os numa fase inicial, permitem evitar o prejuízo causado por esses grandes defeitos ou pela cessação do funcionamento dos sistemas geradores de energia elétrica. As atividades realizadas foram no período de 03/08/2017 a 11/08/2017.

A primeira atividade realizada foi acompanhamento dos ensaios elétricos, além de inspeção visual, limpeza e montagem dos componentes de cada gerador.

Dados do gerador:

**Fabricante:** WEG

**Corrente:** 784,4 A

**Modelo:** SPW 1000

**Número de Polos:** 4 Polos

**Potência:** 18750 KVA

**Frequência:** 60 Hz

**Tensão:** 13800 V

**Data de Fabricação:** 09/2010



Figura 16: Vista geral do gerador



Figura 17: Placa de identificação principal



Figura 18: Placa de identificação excitatriz

### 3.1.1 DESMONTAGEM, LIMPEZA, SECAGEM E REMONTAGEM

Inicialmente foi feito a abertura das tampas e retirada das carenagens de fibra, tendo acesso ao bobinado principal do estator e rotor. O conjunto de excitação também foi aberto e desmontado e foi observado que estava contaminado com certa quantidade de poeira no bobinado e óleo.

Antes de realizar a limpeza do conjunto foi realizada uma inspeção visual nos bobinados, amarrações, ligações, conexões e estecas. Foi observado que estes componentes estão em boas condições de conservação.

Foi observado que estavam faltando quatro chapas que fazem a vedação de ar para melhorar a troca de calor. Novas chapas foram fabricadas e instaladas. Foram realizadas medições de isolamento no estator, rotor e demais componentes antes da limpeza do conjunto.

Em seguida foi realizada a desmontagem do gerador e a remoção do rotor com o auxílio da ponte rolante, suspendendo o conjunto pelas extremidades e deslocando vagarosamente.

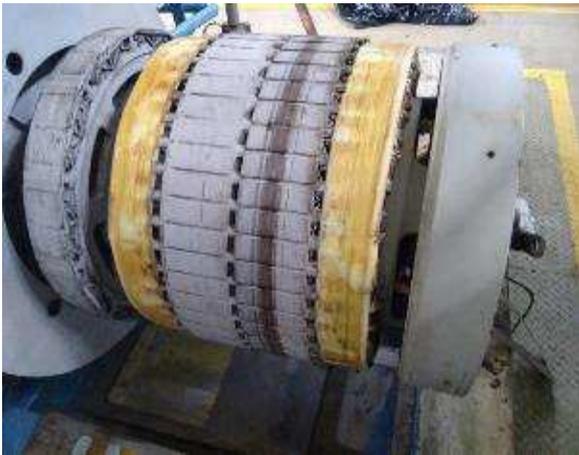


Figura 19: Rotor excitatriz sujo



Figura 20: Excitatriz suja



Figura 21: Bobinado e estator sujos



Figura 22: Rotor sujo

Foi visto que a limpeza foi realizada com a utilização de água e detergente neutro, com o auxílio de um lava jato e panos. Estator, rotor e conjunto de excitação foram limpos, interna e externamente.



Figura 23: Rotor limpo



Figura 24: Rotor excitatriz limpo



Figura 25: Estator limpo



Figura 26: Secagem do gerador

Após a limpeza dos componentes, o rotor foi inserido novamente no estator e o gerador foi deslocado até a base para secagem do conjunto. O gerador e seus componentes foram cobertos com lona e utilizados sopradores térmicos para aquecimento e secagem. Após a secagem foram realizados novos ensaios elétricos e observou-se que os bobinados dos estatores e rotores apresentam valores de isolamento muito bons, o qual será apresentado os valores mais adiante, e seus componentes foram remontados.



Figura 27: Cabos de ligação principal



Figura 28: Caixa de ligação excitatriz



Figura 29: Caixa de acessórios

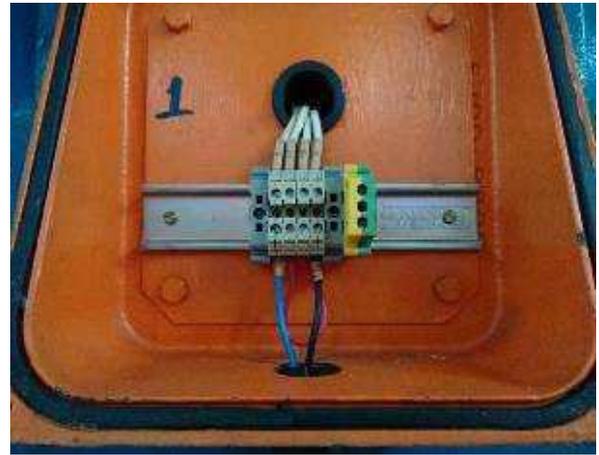


Figura 30: Resistencia de aquecimento



Figura 31: Estator sem vedação de ar



Figura 32: Estator com vedação de ar

### 3.1.2 MEDIÇÕES ELÉTRICAS – RESISTÊNCIA ÔHMICA

Foram efetuadas as medições de resistências ôhmicas no estator principal, rotor principal, estator a excitatriz, rotor da excitatriz e do estator da excitatriz auxiliar, assim como o teste dos diodos e a resistência dos sensores de temperatura. Será mostrado nas tabelas abaixo:

Resistência Ôhmica do Estator Principal	
U	16,42 mΩ
V	16,35 mΩ
W	16,41 mΩ

Tabela 6: Resistência ôhmica do estator principal

Resistência Ôhmica do Rotor Principal	
1 – 2	1,272 Ω

Tabela 7: Resistência ôhmica do rotor principal

Resistência Ôhmica do Rotor Excitatriz	
1 – 2	12,22 mΩ
1 – 3	12,31 mΩ
2 – 3	12,11 mΩ

Tabela 8: Resistência ôhmica do rotor excitatriz

Resistência Ôhmica do Estator Excitatriz	
I – K	7,263 Ω

Tabela 9: Resistência ôhmica do estator excitatriz

Resistência Ôhmica do Estator Excitatriz Auxiliar	
13 – 14	86,21 mΩ
13 – 15	87,02 mΩ
14 – 15	86,15 mΩ

Tabela 10: Resistência ôhmica do estator excitatriz auxiliar

Teste de Diodos (Vcc)						
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Corte	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Condução	0,388	0,390	0,395	0,396	0,392	0,388

Tabela 11: Teste de diodos

Sensores de Temperatura	
Posição	Resistência (Ω)
Estator	
20 – 20 – 21	113,1
22 – 22 – 23	112,8
24 – 24 – 25	113,0
20 – 20 – 21 R1	113,8
22 – 22 – 23 R1	113,3
24 – 24 – 25 R1	113,2
20 – 20 – 21 R2	114,6
22 – 22 – 23 R2	114,3
24 – 24 – 25 R2	113,6

Mancais	
68 – 68 – 69	112,3
168 – 168 – 169	112,1
70 – 70 – 71	112,7
170 – 170 – 171	112,6

Tabela 12: Sensores de temperatura

Após as medições foi observado que os diodos e acessórios estão funcionando de acordo com o esperado.

### 3.1.3 MEDIÇÕES ELÉTRICAS – RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

Para verificar as boas condições da rigidez dielétrica, foram medidos os valores de resistência de isolamento e índice de polarização dos enrolamentos. Conforme norma IEEE 43-2000, o índice de polarização pode ser desconsiderado quando aplicado baixa tensão e resistências de isolamento superiores a 5 GΩ. Levando em consideração o critério de aceitação recomendado pelo fabricante, o qual está de acordo com a norma IEEE 43-2000, foram realizados os ensaios antes da limpeza e depois da limpeza, descritos abaixo:

- Antes da limpeza:

Temperatura ambiente = 28,2° C

Umidade relativa do ar = 59%

Ensaio de Isolação (Ω) – Estator Principal – Tensão Aplicada: 5000 V					
Fase	30 s	1 min	10 min	IA	IP
U(V+W+Terra)	2,53 GΩ	3,56 GΩ	10,2 GΩ	1,40	2,86
V(U+W+Terra)	2,73 GΩ	4,10 GΩ	11,8 GΩ	1,50	2,88
W(U+V+Terra)	2,98 GΩ	4,26 GΩ	11,8 GΩ	1,52	2,78

Tabela 13: Ensaio de isolamento estator principal

Ensaio de Isolação ( $\Omega$ ) – Rotor Principal – Tensão Aplicada: 500 V					
Fase	30 s	1 min	10 min	IA	IP
1 – 2	1,10 M $\Omega$	159 M $\Omega$	NA	1,45	NA

Tabela 14: Ensaio de isolação rotor principal

Isolação Conjunto de Excitação					
Ensaio de Isolação ( $\Omega$ ) – Estator – Tensão Aplicada: 500V					
Tempo	30 s	1 min	10 min	IA	IP
Valor	9,38 G $\Omega$	16 G $\Omega$	NA	1,70	NA
Ensaio de Isolação ( $\Omega$ ) – Estator – Tensão Aplicada: 500V					
Tempo	30 s	1 min	10 min	IA	IP
Valor	88,3 M $\Omega$	96,5 M $\Omega$	NA	1,09	NA
Ensaio de Isolação ( $\Omega$ ) – PMG – Tensão Aplicada: 500V					
Tempo	30 s	1 min	10 min	IA	IP
Valor	649 M $\Omega$	802 M $\Omega$	NA	1,23	NA

Tabela 15: Isolação do conjunto de excitação

- Após a limpeza:

Temperatura ambiente = 30° C

Umidade relativa do ar = 68%

Ensaio de Isolação ( $\Omega$ ) – Estator Principal – Tensão Aplicada: 5000 V					
Fase	30 s	1 min	10 min	IA	IP
U(V+W+Terra)	5,74 G $\Omega$	8,28 G $\Omega$	20,7 G $\Omega$	1,44	1,49
V(U+W+Terra)	5,08 G $\Omega$	6,95 G $\Omega$	12,7 G $\Omega$	1,36	1,83
W(U+V+Terra)	5,78 G $\Omega$	8,39 G $\Omega$	20,4 G $\Omega$	1,45	2,43

Tabela 16: Ensaio de isolação estator principal

Ensaio de Isolação ( $\Omega$ ) – Rotor Principal – Tensão Aplicada: 500 V					
Fase	30 s	1 min	10 min	IA	IP
1 – 2	449 M $\Omega$	632 M $\Omega$	NA	1,40	NA

Tabela 17: Ensaio de isolação rotor principal

Isolação Conjunto de Excitação					
Ensaio de Isolação ( $\Omega$ ) – Estator – Tensão Aplicada: 500V					
Tempo	30 s	1 min	10 min	IA	IP
Valor	25,7 G $\Omega$	36,6 G $\Omega$	NA	1,42	NA
Ensaio de Isolação ( $\Omega$ ) – Estator – Tensão Aplicada: 500V					
Tempo	30 s	1 min	10 min	IA	IP
Valor	7,17 G $\Omega$	10,3 G $\Omega$	NA	1,44	NA
Ensaio de Isolação ( $\Omega$ ) – PMG – Tensão Aplicada: 500V					
Tempo	30 s	1 min	10 min	IA	IP
Valor	25,5 G $\Omega$	36,4 G $\Omega$	NA	1,42	NA

Tabela 18: Isolação do conjunto de excitação

É possível observar que, de uma maneira geral, os resultados obtidos para as resistências de isolamento tiveram melhora e devem melhorar ainda mais com a operação da máquina.

### 3.2 ACOMPANAMENTO DA MANUTENÇÃO ELÉTRICA PREVENTIVA NO MOTOR DE ACIONAMENTO DA BOMBA DE ÁGUA DA CALDEIRA

No período de 14/09/2017 e 15/09/2017 foram realizadas atividades, como inspeções compreendendo as partes elétricas do motor, sendo realizados ensaios elétricos e verificações

visuais nas bobinas, nos cabos, nas amarrações, cunhas, calços e isolamento, verificação dos sensores de temperatura RTD's tipo PT-100.

O motor faz parte de um conjunto de dois motores que compõem os motores de acionamento das moto-bombas da caldeira.

- Dados do motor:

**Fabricante:** WEG

**Tipo:** Motor de indução gaiola

**Modelo:** MGF450 D

**Potência:** 700 CV

**Tensão:** 13800 V

**Tipo de Acionamento:** Direto

**Corrente:** 25,87 A

**Número de Polos:** 2 Polos

**Frequência:** 60 Hz

**Data de Fabricação:** 09/2010



Figura 33: Vista lateral do motor



Figura 34: Placa de dados do motor

### 3.2.1 INSPEÇÃO VISUAL

Foi observado que todas as caixas estavam devidamente fechadas. Após a abertura das caixas, foi constatado que as borrachas de vedação estavam íntegras, sem sujeira em seu interior e com os cabos devidamente conectados. Os cabos de potência estavam com as devidas muflas e com o aterramento da malha dos cabos em boas condições.



Figura 35: Caixa de ligação principal



Figura 36: Caixa de ligação RTD's



Figura 37: Caixa de ligação resistência aquecimento

### 3.2.2 Inspeção Elétrica – Ensaios De Isolação

A inspeção elétrica de uma máquina consiste na realização de ensaios elétricos a fim de comparar os resultados obtidos durante os ensaios aos dos valores recomendados por normas e também comparar com os valores aceitáveis indicados pelo fabricante e não menos importante, comparar os valores obtidos com os valores encontrados em inspeções anteriores, elaborando assim uma curva de tendência dos valores medidos e assim atuar na manutenção do mesmo antes de algum dano significativo ao equipamento.

Os valores encontrados no ensaio de isolação foram corrigidos à 40° C conforme recomendação da Norma Regulamentar IEEE 43 2000 item 6.3.3. A temperatura utilizada para o Kt de Correção a 40°C foi a razão da média das temperaturas medidas nos RTD's tipo PT-100 do estator do motor, levando assim em consideração a temperatura das bobinas do motor no momento do ensaio que está submetida ao aquecimento da resistência de aquecimento. Foi aplicada a tensão de 5000 V para o ensaio de Isolação do estator do motor conforme recomendação vigente contida na Norma IEEE 43-200 item 5.3 (Tabela 1 – instruções para tensões CC para aplicação durante o teste de resistência de isolamento).

Winding rated voltage (V) <sup>a</sup>	Insulation resistance test direct voltage (V)
<1000	500
1000–2500	500–1000
2501–5000	1000–2500
5001–12 000	2500–5000
>12 000	5000–10 000

Rated line-to-line voltage for three-phase ac machines, line-to-ground voltage for single-phase machines, and rated direct voltage for dc machines or field windings.

Figura 38: instruções para tensões CC para aplicação durante o teste de resistência de isolamento

Após os ensaios, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela De Ensaios De Isolação Resultados Em GΩ E Corrigidos À 40° C
Aplicado 5000 V No Estator Principal

Temperatura Ambiente no momento do Ensaio °C	34,73	Kt 40°C de correção			0,694
Valores normais sem correção	30 seg	1 min	10 min	IA	IP
Estator Principal (U+V+W - Massa aterrada)	2,03	2,38	5,12	1,17	2,15
Valores dos ensaios já corrigidos à 40°C	30 seg	1 min	10 min	IA	IP
Estator Principal (U+V+W - Massa aterrada)	1,41	1,65	3,55	1,17	2,15

Tabela 19: Ensaio de isolamento no estator principal

Conforme item 12.2.2 da norma IEEE 43 2000, o valor de IP não se aplica como parâmetro de medição quando o valor atinge 5000 MΩ no tempo de ensaio de 1 minuto, portanto a recomendação é que o ensaio deve ser encerrado com 1 minuto, desconsiderando assim o valor de IP (Index Polarization). Consideram-se valores conclusivos para laudos, os valores corrigidos à 40°C.

Abaixo o gráfico evolutivo da Isolação do ensaio realizado no motor.

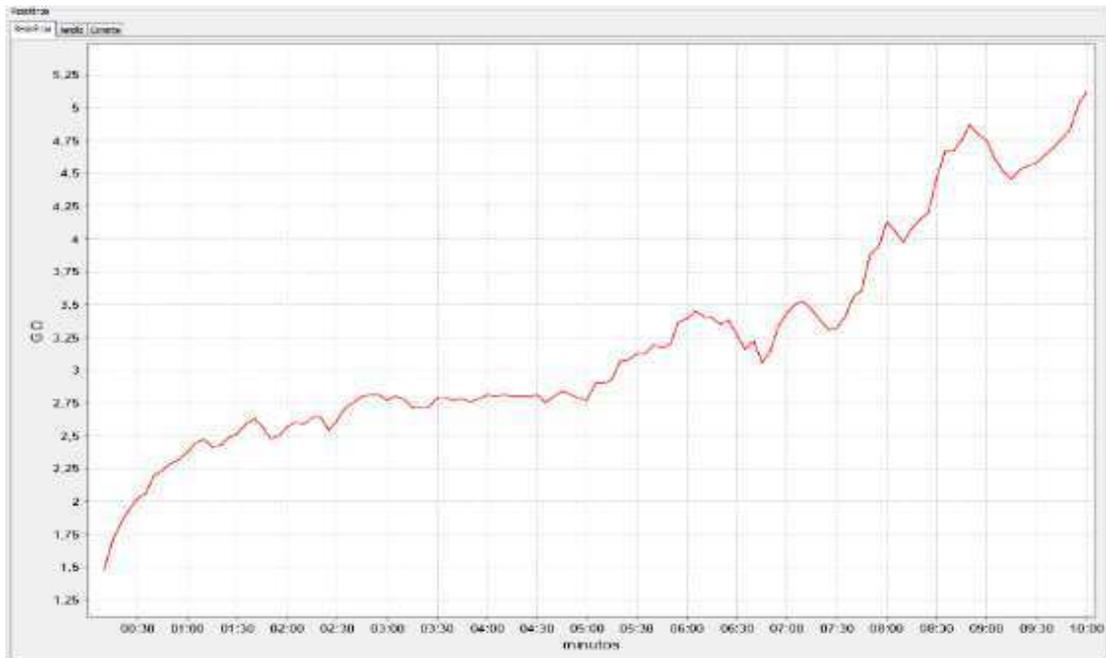


Figura 39: Evolução da isolação

Mediante os valores encontrados no ensaio, o motor encontra-se com a isolação boa.

A partir do acesso aos resultados dos ensaios realizados no startup do motor (2013) e nas entressafras anteriores (2014/2015/2016), foi realizada uma curva de tendência evolutiva dos resultados dos ensaios de isolação do motor (resultados com valores de 1 min.), verificando assim a real condição da isolação do motor. Para isso, foi informado que todos os ensaios foram realizados sob todas as recomendações da norma vigente IEEE 43-2000.

Segue o gráfico evolutivo da tendência da isolação do motor ao longo dos anos:

Motor Bomba #1	2013 (Startup)	2014 (Entressafra)	2015 (Entressafra)	2016 (Entressafra)	2017 (Atual)
Isolação em 1 min.	7,50	3,07	2,09	4,60	1,65

Tabela 20: Dados realizados nos anos anteriores em GΩ



Figura 40: Curva tendência isolação do motor

É primordial obter os valores dos ensaios realizados no motor, que devem sempre ser comparados aos valores dos ensaios dos anos anteriores ou da última medição realizada, se for o caso, sempre tendo uma curva de tendência para verificar a evolução dos valores com o passar do tempo. Os valores coletados neste ensaio devem ser utilizados para comparação em manutenção futura.

### 3.2.3 INSPEÇÃO ELÉTRICA – RESISTÊNCIA ÔHMICA DAS BOBINAS

O ensaio de resistência ôhmica das bobinas é realizado para verificar se há desbalanceamento no número de espiras ou até mesmo curto entre as mesmas em casos extremos. Segue os resultados:

- Estator Principal:

Temperatura ambiente média do estator no momento do ensaio: 34,73° C.

Gráfico de Resistência Ôhmica			
Fases	U – V	V – W	W – U
Resistência em $\Omega$	7,042	7,035	7,036

Tabela 21: Resistência ôhmica estator principal



Figura 41: Medição nas fases U-V, V-W e W-U do estator

Considerando os valores encontrados, foi observado que as bobinas estão balanceadas sem nenhum indício de curto entre espiras ou desbalanceamento entre elas. Esses valores poderão ser considerados como base para comparação de novos ensaios no motor na realização de nova inspeção elétrica.

### 3.2.4 INSPEÇÃO ELÉTRICA – VERIFICAÇÃO DOS PT-100

A verificação dos RTD's tipo PT-100 foi realizada medindo a resistência ôhmica dos mesmos e convertendo para graus Célsius conforme norma IEC 60751. Segue os resultados:

Sensores	Resistência $\Omega$	Temp. °C	Temp. Média
Fase U (bornes 20D-20D-21D)	113,70	35,49° C	34,76 ° C
Fase V (bornes 22D-22D-23D)	113,30	34,46 ° C	
Fase W (bornes 24D-24D-25D)	113,10	33,94 ° C	
Fase U reserva (bornes 20R-20R-21R)	113,70	35,49 ° C	
Fase V reserva (bornes 22R-22R-23R)	113,40	34,72 ° C	
Fase W reserva (bornes 24R-24R-25R)	113,30	34,46 ° C	
Mancal LA (bornes 68D-68D-69D)	11,10	28,76 ° C	27,72 ° C
Mancal LOA (bornes 70T-70T-71T)	110,30	26,68 ° C	

Tabela 22: Sensores de temperaturas RTD's (PT-100)

Mediante os valores encontrados, todos os respectivos RTD's tipo PT-100 estão em bom estado, indicando valores coerentes e aptos para trabalho. Foi ressaltado que em re-startup do motor os valores medidos pelo Relé de proteção deverão ser acompanhados verificando assim se nenhum sensor vai ter disparo ou congelamento na sua indicação caracterizando assim defeito no sensor RTD.

### 3.2.5 INSPEÇÃO ELÉTRICA – VERIFICAÇÃO DOS CAPACITORES E DA RESISTÊNCIA DE AQUECIMENTO

- Verificação dos Capacitores:

A verificação dos capacitores foi realizada medindo a capacitância de cada um deles e também foi realizada uma verificação visual nos mesmos. Segue os resultados:



Figura 42: Capacitores para correção do fator de potência

Verificação dos Capacitores (Capacitância Nominal = 0,25 $\mu$ F)			
	Capacitor Fase U	Capacitor Fase V	Capacitor Fase W
Motor Bomba #1	0,2629 $\mu$ F	0,2528 $\mu$ F	0,2561 $\mu$ F

Tabela 23: Valores dos capacitores

De acordo com os ensaios realizados e os valores encontrados, os capacitores estão em perfeito funcionamento.

- Verificação da Resistência de Aquecimento:

Também foi verificada a resistência de aquecimento do motor, verificando assim se a mesma está ligada e realizando as medições elétricas. Segue os resultados:

Tensão (V)	Corrente (A)	Resistência ( $\Omega$ )	Potência (W)
217,8	0,751	292,8	163,57

Tabela 24: Medições elétricas da resistência de aquecimento

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que a resistência está em perfeita condição para operação.

### 3.3 ACOMPANAMENTO DA MANUTENÇÃO ELÉTRICA PREVENTIVA NO MOTOR DESFIBRADOR

Para essa atividade cumprida no período 22/08/2017 e 23/08/2017, foram realizadas as mesmas inspeções realizadas no motor de acionamento da bomba de água da caldeira.

O motor faz parte de um conjunto de dois motores de média tensão do preparo de cana para moagem, realizando o acionamento do desfibrador. O mesmo foi encontrado todo fechado, parcialmente limpo externamente, devidamente instalado, devidamente aterrado e totalmente liberado para as atividades realizadas.

- Dados do motor:

**Fabricante:** WEG

**Tipo:** Motor de indução gaiola

**Modelo:** MGF630 B

**Potência:** 3500 CV

**Tensão:** 13800 V

**Tipo de Acionamento:** Partida direta

**Corrente:** 127,6 A

**Número de Polos:** 6 Polos

**Frequência:** 60 Hz

**Data de Fabricação:** 09/2010



Figura 43: Vista lateral do motor



Figura 44: Placa de dados do motor

### 3.3.1 INSPEÇÃO VISUAL

Durante a inspeção visual, ficou constatado que todas as caixas abertas estavam devidamente fechadas, com as borrachas de vedação íntegras, sem sujeira em seu interior e com os cabos devidamente conectados. Os cabos de potência estavam com as devidas muflas e com o aterramento da malha dos cabos em boas condições.



Figura 45: Caixa de ligação principal



Figura 46: Caixa de ligação resistência de aquecimento



Figura 47: Caixa de ligação sensores de vibração



Figura 48: Caixa de ligação RTD's

### 3.3.2 INSPEÇÃO ELÉTRICA – ENSAIOS DE ISOLAÇÃO

Para a o ensaio de isolação foram realizados todos os mesmos procedimentos praticados no motor de acionamento da bomba de água da caldeira. Tendo isso em mente, serão mostrados os resultados obtidos:

Tabela De Ensaio De Isolação Resultados Em GΩ E Corrigidos À 40° C					
Aplicado 5000 V No Estator Principal					
Temperatura Ambiente no momento do Ensaio °C	33,25	Kt 40°C de correção			0,626
Valores normais sem correção	30 seg	1 min	10 min	IA	IP
Estator Principal (U+V+W - Massa aterrada)	1,57	2,37	5,47	1,51	2,31
Valores dos ensaios já corrigidos à 40°C	30 seg	1 min	10 min	IA	IP
Estator Principal (U+V+W - Massa aterrada)	0,98	1,48	3,43	1,51	2,31

Tabela 25: Ensaio de isolação no estator principal

Foram considerados os valores conclusivos para laudos, os valores corrigidos à 40°C conforme a norma IEEE 432000. Abaixo é apresentado o gráfico evolutivo da isolação.

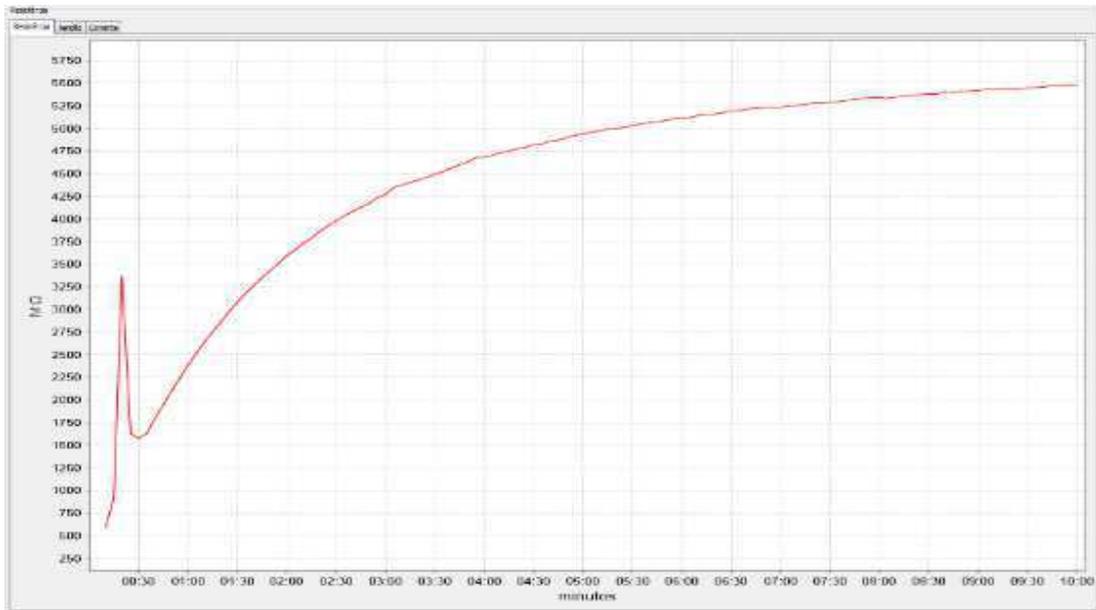


Figura 49: Evolução da isolação

De acordo como os valores encontrados no ensaio, o motor encontra-se com a isolação excelente.

A partir do acesso aos resultados dos ensaios realizados no startup do motor (2013) e nas entressafras anteriores (2014/2015/2016), foi realizada uma curva de tendência evolutiva dos resultados dos ensaios de isolação do motor (resultados com valores de 1 min.), verificando assim a real condição da isolação do motor. Para isso, foi informado que todos os ensaios foram realizados sob todas as recomendações da norma vigente IEEE 43-2000.

Segue o gráfico evolutivo da tendência da isolação do motor ao longo dos anos:

Motor Desfibrador	2013 (Startup)	2014 (Entressafra)	2015 (Entressafra)	2016 (Entressafra)	2017 (Atual)
Isolação em 1 min.	4,15	3,84	1,10	1,02	1,48

Tabela 26: Dados realizados nos anos anteriores em GΩ

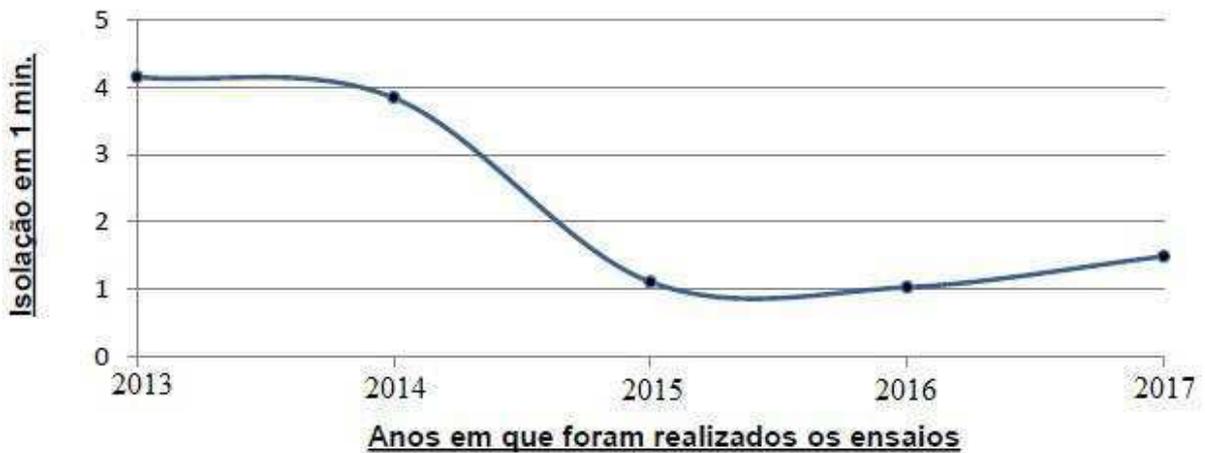


Figura 50: Curva tendência isolação do motor

Como já foi dito antes, é essencial a comparação dos valores do ensaio atual do motor com os valores dos ensaios em anos anteriores, e assim poder realizar a curva de tendência para a verificação da evolução nos valores durante esse intervalo de tempo.

### 3.3.3 INSPEÇÃO ELÉTRICA – RESISTÊNCIA ÔHMICA DAS BOBINAS

O ensaio de resistência ôhmica das bobinas é realizado para verificar se há desbalanceamento no número de espiras ou até mesmo curto entre as mesmas em casos extremos. Segue os resultados:

- Estator Principal:

Temperatura ambiente média do estator no momento do ensaio: 33,25° C.

Gráfico de Resistência Ôhmica			
Fases	U – V	V – W	W – U
Resistência em $\Omega$	0,7602	0,7604	0,7603

Tabela 27: Resistência ôhmica estator principal



Figura 51: Medição nas fases U-V, V-W e W-U do estator

Após as medições, os valores obtidos comprovam que as bobinas estão balanceadas sem nenhum indício de curto entre espiras ou desbalanceamento entre elas. Esses valores poderão ser considerados como base para comparação de novos ensaios no motor na realização de nova inspeção elétrica.

### 3.3.4 INSPEÇÃO ELÉTRICA – VERIFICAÇÃO DOS PT-100

A verificação dos RTD's tipo PT-100 foi realizada medindo a resistência ôhmica dos mesmos e convertendo para graus Célsius conforme norma IEC 60751. Segue os resultados:

Sensores	Resistência $\Omega$	Temp. °C	Temp. Média
Fase U (bornes 2AU - 3AU - 4AU)	112,90	33,42° C	3,25 ° C
Fase V (bornes 2AV - 3AV - 4AV)	113,10	33,94° C	
Fase W (bornes 2AW - 3AW - 4AW)	112,90	33,42° C	
Fase U reserva (bornes 2AU - 3AU - 4AU)	112,80	33,16° C	
Fase V reserva (bornes 2AV - 3AV - 4AV)	112,70	32,90° C	
Fase W reserva (bornes 2AW - 3AW - 4AW)	112,60	32,64° C	
Mancal LA (bornes 2F1 – 3F1 – 4F1)	112,90	33,42° C	33,07° C
Mancal LA (bornes 2F2 – 3F2 - 4F2)	112,80	33,16° C	
Mancal LOA (bornes 2R – 3R - 4R)	112,60	32,64° C	
Entrada de ar LA (bornes 2F1 - 3F1 - 4F1)	113,50	34,97° C	36,44° C
Entrada de ar LOA (bornes 2F2 - 3F2 - 4F2)	113,30	34,46° C	
Saída de AR (bornes 2R - 3R - 4R)	115,40	39,90° C	

Tabela 28: Sensores de temperaturas RTD's (PT-100)

Mediante os valores encontrados, todos os respectivos RTD's tipo PT-100 estão em bom estado, indicando valores coerentes e aptos para trabalho. Foi ressaltado que em re-startup do motor os valores medidos pelo Relé de proteção deverão ser acompanhados verificando assim se nenhum sensor vai ter disparo ou congelamento na sua indicação caracterizando assim defeito no sensor RTD.

### 3.3.5 INSPEÇÃO ELÉTRICA – VERIFICAÇÃO DOS CAPACITORES

- Verificação dos Capacitores:

A verificação dos capacitores foi realizada medindo a capacitância de cada um deles e também foi realizada uma verificação visual nos mesmos. Segue os resultados:



Figura 52: Capacitores para correção do fator de potência

Verificação dos Capacitores (Capacitância Nominal = 0,50 $\mu$ F)			
	Capacitor Fase U	Capacitor Fase V	Capacitor Fase W
Motor Desfibrador	0,526 $\mu$ F	0,528 $\mu$ F	0,520 $\mu$ F

Tabela 29: Valores dos capacitores

De acordo com os ensaios realizados e os valores encontrados, os capacitores estão em perfeito funcionamento.

Durante os testes, foi observado o tamanho dos terminais dos cabos de potência do motor. Foi passada a informação de que foram substituídos após um problema ocorrido na safra 2014 / 2015 onde um dos terminais cisalhou, porém os terminais que estão instalados não são os recomendados para esta aplicação. Então a empresa responsável pela manutenção (FC Service) informou ao supervisor Ítalo de Almeida que os terminais corretos para esta aplicação eram os terminais de olhais duplos e em caso extremos terminais de olhais simples, porém com maior área de contato com os bornes (assim como nos cabos internos do motor). Foi explicado também que os cabos internos no motor são extra flexíveis categoria 200°C e os cabos utilizados no motor são de categoria menor e não são extra flexíveis, portanto o recomendado é um terminal de área de contato maior para evitar aquecimento nestes pontos.

Mesmo os terminais dos cabos internos do motor sendo olhal único, a área de contato deles são maiores do que os dos terminais utilizados. Portanto ficou recomendada a substituição dos terminais para terminais de olhais duplo (dois furos) e subsequente refazerem novas muflas.



Figura 53: Terminal utilizado com pouca área de contato

## 4 CONCLUSÃO

Neste documento consta o conjunto de atividades desenvolvidas durante o período de estágio realizado na empresa Vale Verde Empreendimentos LTDA - RN.

Diante de tudo que foi relatado até então fica comprovada a importância da formação do engenheiro eletricista e a obtenção dos conhecimentos das disciplinas da grade curricular, em destaque as disciplinas de Conversão Eletromecânica e Máquinas Elétricas, que se mostraram de fundamental importância para o desenvolvimento das atividades do estágio.

Constatou-se a importância do estágio como primeiro contato com a vida profissional do futuro engenheiro, no qual foi possível ter contato com profissionais atuando na área e observando de perto todos os aspectos de sua atuação no desempenho de suas atividades.

Conclui-se que as atividades propostas previamente para o estágio foram executadas com êxito.

Em suma pode-se dizer que o estágio foi de grande relevância, tanto para o aluno na questão de conhecimento técnico e de atuação profissional, quanto para empresa em relação as atividades desenvolvidas.

## REFERÊNCIAS

- [1] WEG. **Curso DT6: Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão.** Disponível em: <http://www.weg.net/>. Acesso em: Outubro de 2016.
- [2] WEG. **Guia de especificação de motores elétricos.** Disponível em: <http://www.weg.net/>. Acesso em: Outubro de 2016.
- [3] WEG. **W22 - Motor Elétrico Trifásio - Catálogo Técnico mercado Brasil.** Disponível em: <http://www.weg.net/>. Acesso em: Outubro de 2016.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5383-1. Máquinas Elétricas Girantes Parte 1: Motores de Indução Trifásicos – Ensaios.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.
- [5] **Manutenção Industrial - Aula 05 - Manutenção em Motores de Indução.** Disponível em: <http://manutencaodesistemasindustriais.blogspot.com.br/2016/02/antes-de-ser-desmontado-todo-motor-deve.html/>. Acesso em: Dezembro de 2016.
- [6] **Máquina Elétrica Síncrona – Manutenção Preventiva.** Manuel Vaz Guedes, 2001.