

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**SIDNEY ALVES FILHO
THALES FONSECA DE ABREU**

MODERNIZAÇÃO DE UM GERADOR ELÉTRICO

**VOLTA REDONDA
2020**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

MODERNIZAÇÃO DE UM GERADOR ELÉTRICO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do UniFOA como requisito à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Discentes:

Sidney Alves Filho

Thales Fonseca de Abreu

Orientador:

Prof. D. Sc. Hélio de Paiva Amorim Júnior

VOLTA REDONDA

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

Sidney Alves Filho
Thales Fonseca de Abreu

MODERNIZAÇÃO DE UM GERADOR ELÉTRICO

Orientador:

Prof. D. Sc. Hélio de Paiva Amorim Júnior

Banca Examinadora

Prof. D. Sc. Hélio de Paiva Amorim Júnior

Prof. M. Sc. Cláudio Márcio de Freitas da Silva

Prof. M. Sc. Edson de Paula Carvalho

Dedicamos essa conquista aos nossos pais, que sempre nos apoiaram em tudo que precisamos nos dando a força e incentivos necessários, sem eles nenhum objetivo teria sido alcançado.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por nos permitir essa conquista, nos provendo saúde, força e sabedoria.

Ao nosso orientador, professor e doutor Hélio de Paiva Amorim Júnior que mesmo com as dificuldades encontradas ao decorrer do trabalho, nos promoveu apoio durante as etapas.

Aos nossos familiares, que sempre proporcionaram o devido apoio e incentivo e depositaram a confiança para superarmos os desafios.

Agradecemos aos nossos colegas de trabalho, que contribuíram de variadas formas para o nosso desenvolvimento profissional e acadêmico.

RESUMO

A modernização relacionada a dispositivos do sistema elétrico pode ser definida como a atividade empregada que busca a melhoria de determinado equipamento visto como ultrapassado. Ao considerar o cenário energético brasileiro, percebe-se que a geração de energia elétrica em sua grande parte é proveniente de geradores que utilizam os recursos hídricos e uma parcela relevante dos geradores e usinas responsáveis por essa geração, apresentam uma idade de funcionamento elevada. O presente trabalho tem por objetivo apresentar o estudo da modernização de um gerador de uma usina hidrelétrica, avaliando aspectos técnicos dos novos equipamentos que serão utilizados e os dados operacionais desse gerador para comprovar a necessidade dessa intervenção. Também serão apresentados no estudo de caso o histórico recente de falhas e indisponibilidade do gerador, o que possibilita uma avaliação dos valores financeiros que foram perdidos pela potência não gerada devido aos fatores acima mencionados. Dessa forma, busca-se apresentar a modernização de geradores elétricos, como um processo que se destaca como alternativa para obter-se maior segurança no suprimento de energia para o sistema elétrico do Brasil.

Palavras-chave: Modernização. Sistema elétrico. Gerador. Usina hidrelétrica. Energia.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
1.3 Metodologia	15
2 USINA HIDRELÉTRICA.....	16
2.1 Cenário hidrelétrico brasileiro	16
2.2 Envelhecimento do parque hidrelétrico nacional	17
2.3 Modernização	17
2.3.1 Modernização nas Usinas Hidrelétricas.....	18
2.4 Indisponibilidade operacional e fator de disponibilidade	18
2.5 Componentes de uma usina hidrelétrica.....	19
2.5.1 Turbina.....	20
2.5.2 Gerador Síncrono	22
2.5.3 Estator	22
2.5.4 Rotor	22
2.5.5 Polos.....	23
2.5.6 Regulador de Tensão	25
2.5.7 Regulador de Velocidade.....	26
3 PROCEDIMENTOS DA MODERNIZAÇÃO	28
3.1 Reisolação dos polos do rotor	28
3.1.1 Ensaio Elétrico	30
3.2 Descrição do novo estator	31
3.3 Substituição do regulador de velocidade	32
3.3.1 Regulador de velocidade atual.....	33

3.3.2 Verificações iniciais.....	35
3.3.3 Ensaios em água morta	35
3.3.4 Ensaios dinâmicos a vazio.....	35
3.3.5 Ensaios dinâmicos em carga	36
3.4 Substituição do regulador de tensão.....	37
3.4.1 Regulador de tensão atual.....	37
3.4.2 Verificações iniciais.....	40
3.4.3 Ensaios a vazio do regulador de tensão	40
3.4.4 Ensaios em carga do regulador de tensão	41
4 ESTUDO DE CASO.....	43
4.1 Características técnicas e histórico recente do gerador antes da modernização.....	43
4.2 Indicadores	44
4.3 Valor do megawatt interrompido	52
4.4 Características técnicas após a modernização.....	54
5 COMENTÁRIOS E CONCLUSÃO	56
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXO A – Interface da tabela utilizada para o cálculo dos valores do megawatt interrompido.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados do atual e antigo regulador de velocidade.....	32
Quadro 2 - Dados do atual e antigo regulador de tensão	37
Quadro 3 - Tarefas principais	39
Quadro 4 - Dados do gerador antes da modernização	44
Quadro 5 - Horas de indisponibilidade.....	45
Quadro 6 - Falhas em equipamentos.....	49
Quadro 7 - Dados do gerador após a modernização	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do megawatt interrompido	53
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração de uma usina hidrelétrica típica de média queda	19
Figura 2 - Turbina Pelton	20
Figura 3 - Turbina Francis.....	21
Figura 4 - Turbina Kaplan	21
Figura 5 - Rotor de um gerador síncrono.....	23
Figura 6 - Rotor de polos salientes	24
Figura 7 - Componentes de um sistema de excitação estática.....	26
Figura 8 - Diagrama do sistema de regulação de velocidade	27
Figura 9 - Inspeção visual da bobina quanto à limpeza	28
Figura 10 - Fixação do quadro isolante na bobina.....	29
Figura 11 - Soldagem do quadro de pressão.....	29
Figura 12 - Esquema de ligação para o ensaio de resistência de isolamento	30
Figura 13 - Esquema para ensaio de tensão aplicada.....	30
Figura 14 - Esquema de ligação para o ensaio com Surge Tester	31
Figura 15 - Estrutura de telas da IHM.....	33
Figura 16 - Falha e registros de eventos	34
Figura 17 - Reguladores de tensão	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Horas de desligamento programado	46
Gráfico 2 - Horas de desligamento forçado	47
Gráfico 3 - Horas de desligamento forçado	47
Gráfico 4 - Megawatt interrompidos	50
Gráfico 5 - Falhas em equipamentos	51
Gráfico 6 - Falhas em equipamentos 2	51

LISTA DE SIGLAS

CC - Corrente Contínua

CA - Corrente Alternada

ECT - Terminal de Controle para Sistemas de Excitação

IHM - Interface Homem Máquina

PSS - Estabilizador do Sistema de Potência

PLD - Preço de Liquidação das Diferenças

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país privilegiado com relação à viabilidade de recursos renováveis para uso na geração de energia. Nesse contexto, se destacam os recursos hídricos, que são encarregados por uma grande fatia da geração de energia elétrica no país, representando 65,2% da matriz elétrica brasileira (BEM, 2018). Estes aspectos tornam a matriz energética brasileira limpa em comparação a outras nações, principalmente os países economicamente desenvolvidos.

Visando o desenvolvimento do país, se faz necessário ter uma matriz elétrica consistente e um abastecimento de energia elétrica confiável. Há diversas formas de se obter essas condições, e uma delas é por meio da modernização e repotenciação de antigas usinas hidrelétricas. Diversos estudos têm assinalado os benefícios obtidos através dessas práticas, como aumento da vida útil da usina, elevação de potência, diminuição dos gastos com manutenção e maior segurança e confiabilidade no abastecimento de energia.

Uma usina hidrelétrica durante sua vida útil terá a necessidade de impedimentos para manutenções e modernizações, que são imprescindíveis para assegurar que as instalações e equipamentos estejam em condições satisfatórias de funcionamento. Os Estudos sobre modernização e repotenciação esclarecem os obstáculos e as prevenções que devem ser adotadas para que se tenha sucesso neste processo.

A modernização de antigas usinas requer a realização de análises técnicas corretas para que se constate, de maneira precisa, a capacidade da geração de energia e o atual estado dos dispositivos com maior relevância quando comparados à confiabilidade operacional que dela se espera. Os principais objetivos desses estudos são a otimização da geração, a estimativa do tempo de vida residual e a prevenção de paradas não programadas e falhas.

Este processo é mais barato do que a elaboração de mais usinas, visto que não compreendem obras de construção civil. Além do mais, o impacto ambiental e social é reduzido, pois a fase de maior dano, como a instalação da estrutura e afastamento de populações já ocorreu, sendo assim a modernização é considerada uma boa alternativa de assegurar a capacidade e confiabilidade de geração em um menor espaço de tempo sem grandes impactos ambientais.

1.1 Justificativa

O trabalho apresenta um estudo sobre a modernização de um gerador de uma usina hidrelétrica. Considerando o cenário energético nacional, é possível perceber que a geração de energia elétrica que utiliza recursos hídricos representa a maior parcela da matriz elétrica brasileira e uma parcela considerável das usinas responsáveis por essa geração, apresentam uma idade de funcionamento elevada. Dessa forma o presente estudo justifica-se, pois aborda os principais dispositivos a serem analisados em uma modernização, contribuindo com conceitos, dados técnicos e procedimentos a serem adotados nos testes e comissionamentos e retrata um modelo utilizado para mensurar a necessidade desse empreendimento através de indicadores operacionais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

No momento atual, a modernização de geradores elétricos, é classificada como uma importante alternativa para que se tenha uma maior confiabilidade no suprimento de energia para o sistema de eletricidade do Brasil.

O objetivo desse trabalho é comprovar essa afirmação apresentando o estudo da modernização de uma unidade geradora de eletricidade de uma usina hidrelétrica, através da avaliação de aspectos técnicos e operacionais dos novos equipamentos e tecnologias utilizadas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Mostrar a recuperação com isolação dos polos de campo do gerador;
- Descrição e especificação dos novos equipamentos utilizados;
- Substituição e descrição do novo estator;
- Avaliação dos valores financeiros perdidos utilizando dados de indisponibilidade do gerador.

1.3 Metodologia

O presente trabalho envolve uma pesquisa de cunho descritivo, e irá apresentar os dados necessários para a aplicação de uma reforma em uma unidade geradora de eletricidade de uma hidrelétrica, relatando as condições atuais do empreendimento e dos equipamentos a serem substituídos, além de apresentar os resultados esperados com a realização da modernização. O trabalho se baseia em conteúdos bibliográficos, manuais e procedimentos disponibilizados por fabricantes, trabalhos de conclusão de curso e artigos.

2 USINA HIDRELÉTRICA

É um complexo constituído por unidades geradoras que possui o objetivo de gerar energia elétrica utilizando o potencial hidráulico existente em um rio ou represa. As usinas hidroelétricas atuam convertendo a energia potencial da água, localizada no nível a montante em energia mecânica nas turbinas. Dessa forma, a energia mecânica movimentada o eixo, que é responsável por interligar a turbina ao gerador, fazendo assim com que esta se transforme em energia elétrica.

As UHE's apresentam um reservatório onde armazenam a água, permitindo assim o controle da operação da mesma. Na maior parte dos casos, em usinas de baixa e média queda, as mais comuns no Brasil, a água flui por um conduto forçado e segue até a caixa espiral, percorrendo pelas palhetas diretrizes até chegar no rotor da turbina (Gomes, 2013).

Em seguida, a água sai pelo tubo de sucção e retorna ao rio a jusante da usina em um nível mais baixo. Conforme dito anteriormente, existe um eixo que conecta a turbina ao gerador, sendo que no gerador a energia mecânica é transformada em elétrica, e após esse processo será distribuída pelas linhas de transmissão e distribuição.

2.1 Cenário hidrelétrico brasileiro

A água é o recurso intrínseco mais numeroso da Terra, e sua participação na matriz energética brasileira é de suma importância, e ainda segundo a EPE, o potencial hidrelétrico brasileiro é considerado em cerca de 172 GW, dos quais mais de 60% já foram utilizados. Para a administração dos recursos hídricos foi sancionada a Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, chamada de Lei das Águas, que estabeleceu a preparação e a gestão dos recursos hídricos, pousando como preferência a utilização múltipla da água, sendo controlada em toda extensão territorial nacional pela Agência Nacional de Água (ANA).

O Brasil apresenta um sistema elétrico de grande porte baseado no uso de energia hidráulica. A razão de se ter privilegiado a utilização de usinas hidrelétricas deve-se, antes de tudo, ao amplo potencial hidrelétrico existente no país e à concorrência econômica que esta fonte apresenta.

De acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG), da Aneel, o Brasil conta, em dezembro de 2019, com 1.361 usinas de potencial hidráulico em atividade, que correspondem a uma capacidade instalada de 107.093 MW (megawatts).

2.2 Envelhecimento do parque hidrelétrico nacional

Diante desse cenário apresentado, onde é mostrada a importância da geração hidrelétrica para o país, um assunto é objeto de atenção, o envelhecimento do parque hidrelétrico nacional. De acordo com a organização Ecologia e Ação (ECOIA) nas unidades geradoras com mais de 20 anos ocorrem defeitos frequentes que causam interrupção de funcionamento, nas unidades com mais de 40 anos, o número de ocorrências que causam interrupções e desligamentos forçados é tão elevada, que chega a afetar o seguimento das operações, esse fato se torna ainda mais relevante, levando em consideração que 31% das hidrelétricas nacionais têm mais de 40 anos.

É previsível que, no decorrer dos anos, os dispositivos de uma usina estejam deteriorados por conta de sua utilização, ainda mais nos casos em que o negócio tenha idade de funcionamento elevada. Assim, nas usinas surgem alguns problemas que são indicadores das condições e estado de um grupo gerador ou até mesmo de uma usina, podemos destacar o aumento da indisponibilidade forçada, maior necessidade de substituição de componentes, maiores custos de manutenção e operação, aproveitamento da capacidade hidráulica disponível em relação às oportunidades e a queda no rendimento do grupo.

Portanto, em relação a esse contexto, a modernização de unidades geradoras aparece como alternativa para esse desafio, tendo como objetivos, estender a vida útil da usina, aumentar o fator de disponibilidade, a redução dos custos com manutenção e operação, elevar o rendimento do gerador e aumento da potência instalada.

2.3 Modernização

É uma atividade empregada no ramo da engenharia que busca a melhoria de determinado equipamento já considerado ultrapassado ou obsoleto. É um processo

que visa garantir a modernização e evolução para geradores em atividade. A modernização garante que o gerador passe por transformações e por reformas que o coloquem no mesmo nível que novos geradores de seu segmento. O procedimento de modernização de geradores é, portanto, um processo que normalmente é realizado com praticidade e rapidez, que resulta em segurança, qualidade e modernidade.

2.3.1 Modernização nas Usinas Hidrelétricas

Em uma usina hidrelétrica, no contexto que estamos abordando, o processo de modernização é aplicado quando ocorre a necessidade de fazer melhorias, como a elevação da vida útil da usina, relacionada a diminuição de gastos com indisponibilidade e manutenção (Gomes, 2013).

Existem várias oportunidades de intervenções relacionadas a modernização em usinas hidrelétricas, as quais se destacam:

- Reforma da turbina, com inclusão da substituição do rotor com novo modelo das pás, mais otimizado, o que pode resultar em aumentos de potência nominal e rendimento. O ganho relacionado ao rendimento médio nos grupos geradores pode ser registrado diretamente como um benefício de energia assegurada da usina;

- Reforma total do gerador, com acréscimo ou não de potência, que está relacionado a substituição do estator e reisolamento das bobinas dos polos, em relação a este último caso utilizando isolantes de espessura mais baixa e melhor condutividade de calor;

Os ganhos de energia neste tipo de intervenção de repotenciação, caso ocorram, estão restringidos a potência instalada original, considerando que qualquer alteração deverá ser regularizada junto a ANEEL.

2.4 Indisponibilidade operacional e fator de disponibilidade

A indisponibilidade operacional de uma unidade geradora é o estado em que não há a possibilidade de a unidade operar em função de uma falha de determinado componente ou sistema, estar liberada para manutenção, restrição externa ou qualquer outra condição impeditiva.

Dessa forma, o fator de disponibilidade pode ser estabelecido como índice determinado pela relação do tempo em que o gerador esteve disponível com o intervalo total de tempo considerado, ou seja, é uma medida do tempo efetivo que o gerador é capaz de estar em funcionamento se for necessário (Pinto, 2009).

2.5 Componentes de uma usina hidrelétrica

Em uma UHE com um período elevado de operação, normalmente seus componentes demonstram degradação com o tempo e, provavelmente, já sofreram trocas e reparos em determinadas partes ou peças. Sendo assim, em uma usina que ocorrerá uma modernização, todos os elementos devem ser examinados antes da reforma. Dessa forma, segundo Gomes (2013) devem ser analisados, então: os componentes como comportas, válvulas, turbina e seus componentes auxiliares, o gerador, o sistema de excitação e de regulação de velocidade, equipamentos auxiliares elétricos e mecânicos, transformadores, equipamentos de proteção e controle.

A seguir, são expostos na Figura 1 alguns dos principais componentes de uma usina hidrelétrica e possíveis melhorias ao longo de sua reforma.

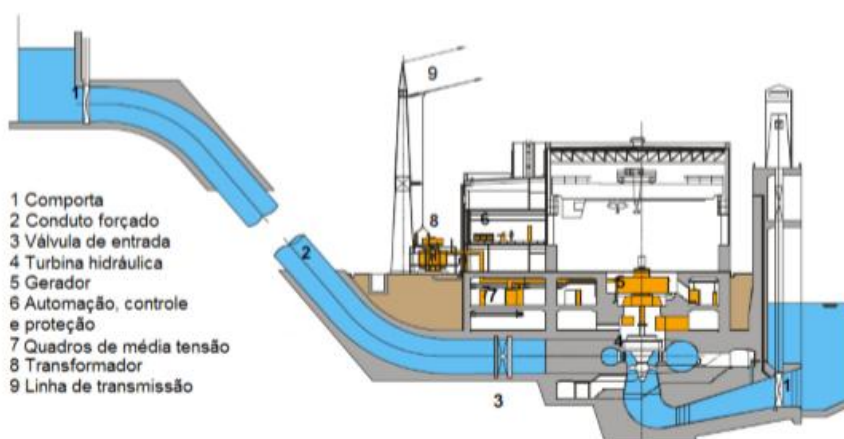


Figura 1 - Ilustração de uma usina hidrelétrica típica de média queda

Fonte: ANDRITZ Hydro (2009)

2.5.1 Turbina

Turbinas Hidráulicas são equipamentos desenvolvidos para transformar a força da água em energia elétrica, agindo em conjunto com uma gama de outros componentes. As turbinas podem ser classificadas como turbinas de ação e turbinas de reação.

Ambas as turbinas empregam a energia cinética para movimentar seu rotor, nas turbinas de ação o escoamento acontece sem variação de pressão, permanecendo a pressão estática constante entre a entrada e saída, sendo seu tipo mais comum a turbina Pelton. Já nas turbinas de reação ocorre diminuição da pressão estática ao passar pelo rotor, alterando a pressão do escoamento ao longo das pás, no momento em que se gera potência mecânica para movimentar o eixo da turbina seus tipos mais comuns são as turbinas Francis e Kaplan (Costa, 2003).

As turbinas Pelton são desenvolvidas para atuar em altas quedas, normalmente até 550 metros e baixas vazões. Suas pás têm formato de conchas e são constituídas por uma tubulação que alimenta um ou mais injetores, a posição de seu eixo pode ser na vertical ou na horizontal. Possuem ainda um defletor que interrompe o jato, o desviando das pás, no momento que ocorre uma grande e inesperada diminuição de potência, rejeição de carga, conforme ilustra a Figura 2.

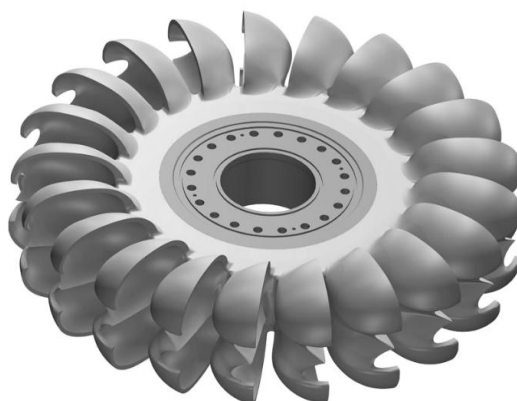


Figura 2 - Turbina Pelton

Fonte: Site da Voith (2019)

As turbinas Francis permitem sua utilização em uma maior faixa de aplicação com a relação queda e vazão, elas são projetadas com rotor simples ou com rotor duplo. É o tipo de turbina mais utilizada, porque atua de forma enérgica em uma

elevada faixa de circunstâncias de operação. Isto se deve, pois, a altura de queda e a vazão são os dois fatores com mais destaque para o desempenho de turbinas, e estão submetidos a variações sazonais, sendo que as turbinas Francis possuem uma melhor adaptação a esta sazonalidade, conforme ilustra a Figura 3.

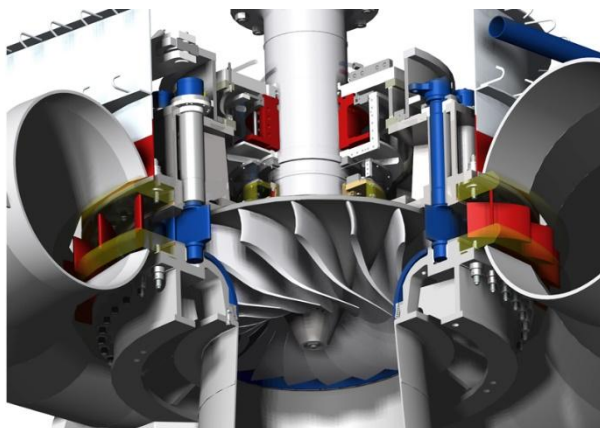


Figura 3 - Turbina Francis

Fonte: Site da Voith (2019)

As turbinas Kaplan atuam em uma grande faixa de vazão e em quedas inferiores a 50 metros normalmente. São máquinas de eixo horizontal ou vertical elaboradas com rotor de pás móveis, possibilitando sua regulação conjugada com a vazão do distribuidor, assim como ilustra a Figura 4.



Figura 4 - Turbina Kaplan

Fonte: Site da Voith (2019)

2.5.2 Gerador Síncrono

O gerador síncrono é usado para transformar energia mecânica em energia elétrica. Composto por duas partes principais, a primeira é fixa e recebe o nome de estator, a segunda é móvel sendo denominada rotor.

GOMEZ et al (2008) ressalta que o gerador pode ser observado como dois circuitos em cadeia: um de fluxo magnético e outro de corrente elétrica. O fluxo magnético passa pelos polos do rotor e laminas do aro, entreferro entre o rotor e o estator, e o núcleo magnético do estator. A corrente elétrica movimenta-se através do enrolamento do estator e circuito de carga. O potencial do gerador é determinado pelas quantidades de fluxo magnético e densidade de corrente. Estes, por sua vez, são restringidos pelas áreas de seção transversal ao longo de seus circuitos. Diante disso, para elevar a capacidade de um gerador, devemos olhar para as alternativas de aumento do fluxo magnético e densidade de corrente, sem obter grandes perdas e elevadas temperaturas.

2.5.3 Estator

Parte fixa do gerador, é estabelecida em torno do rotor de maneira que o mesmo possa girar em seu interior. É constituído de material ferromagnético sendo envolvido por um conjunto de enrolamentos arranjados na extensão de sua circunferência. O conjunto de enrolamentos recebe o nome de enrolamentos da armadura, ou do estator.

Pelo estator percorre a energia elétrica gerada, onde este geralmente opera em níveis de tensão e corrente maiores que o campo, pois este tem como função gerar um campo magnético responsável pela excitação do gerador, para que dessa maneira seja possível a indução de tensões nas margens dos enrolamentos do estator, sendo que nele localiza-se a saída de tensão trifásica alternada, que alimenta as cargas de um sistema (FITZGERALD, 2006).

2.5.4 Rotor

É a parte giratória do gerador síncrono, sendo atuado pelo eixo que está ligado à turbina. Assim como o estator, é constituído de um material ferromagnético

e sua principal funcionalidade é a produção de um campo magnético constante que interage com o enrolamento da armadura. Esse campo magnético produzido, é obtido pela aplicação de uma tensão contínua a um enrolamento desse rotor, que também é chamado de enrolamento de campo. Esse campo magnético produzido induz a tensão terminal nos enrolamentos do estator do gerador (Chapman, 2013). No rotor do gerador síncrono estão localizadas as bobinas de campo e os polos do rotor, conforme ilustra a Figura 5.



Figura 5 - Rotor de um gerador síncrono

Fonte: Autores (2020)

2.5.5 Polos

São equipamentos do circuito magnético do gerador e compõem o rotor, sendo também nos polos que estão situadas as bobinas de campo. Os polos magnéticos do rotor podem ser reconhecidos por polos salientes ou não salientes, que também são denominados como polos lisos.

Os polos salientes apresentam uma irregularidade no entreferro por toda a extensão das margens do núcleo de ferro, assim, um polo saliente é um polo que se sobressai radialmente do rotor. Nesta situação, encontram-se as regiões interpolares, onde fica visível a saliência dos polos. Geralmente, esses tipos de polos são usados em rotores que utilizam quatro ou mais polos (Chapman, 2013). Esse tipo de polo pode ser observado na Figura 6.

Em contrapartida, um polo não saliente ou polo liso, é um polo magnético onde o entreferro é constante em toda a extensão do núcleo de ferro, possuindo os enrolamentos nivelados com a superfície do rotor. Normalmente, esses polos são utilizados em rotores que possuem dois ou quatro polos.



Figura 6 - Rotor de polos salientes

Fonte: Autores (2020)

Os polos do rotor podem ser magnetizados a partir de uma fonte CC externa, através de escovas e anéis coletores. Os anéis coletores são feitos de metal e circundam completamente o eixo da máquina, porém ficam isolados do mesmo. Já as escovas, são um bloco de carbono que conduz eletricidade com muita facilidade e possuem atrito muito baixo, portanto, quando entram em contato com o anel, não causam desgaste no mesmo.

Nesta situação, o campo no rotor é alimentado em corrente contínua através das escovas e anéis, onde cada extremidade do enrolamento CC do rotor é fixada a cada um dos anéis e as escovas ficam em contato com esses anéis. Dessa forma, se a extremidade positiva da fonte de tensão CC está ligada a uma escova e a extremidade negativa ligada à outra, a mesma tensão CC será empregada ao enrolamento do rotor. A utilização desse método de excitação possui algumas desvantagens aos enrolamentos de campo do gerador, pois demandam manutenção periódica devido a deterioração das escovas e a queda de tensão nas mesmas pode acarretar perdas de potência consideráveis em máquinas que operam com elevadas correntes de campo. Outra forma de magnetizar os polos do rotor é a partir de uma fonte CC especial, através da corrente contínua da excitatriz.

Nesse método de utilização, a corrente CC utilizada para alimentação do campo no rotor é alcançada sem o emprego de escovas e anéis. A excitatriz é um pequeno gerador CA e possui seu circuito de campo localizado no estator e o circuito de armadura rotativa, no eixo do gerador. A saída CA da excitatriz é transformada em corrente contínua através de um circuito retificador trifásico que está localizado no eixo do gerador, assim, essa corrente CC retificada é responsável por alimentar o circuito principal de campo.

Estão situadas nos polos as bobinas de campo, por elas circula a corrente aplicada pelo sistema de excitação do gerador. Elas são responsáveis por criar o campo magnético nos polos, que ao girar com o rotor, induz a tensão no enrolamento do estator. Portanto, é a interação do campo magnético nos polos do rotor, com o campo magnético induzido no enrolamento do estator que possibilita a conversão eletromecânica de energia no gerador.

2.5.6 Regulador de Tensão

O regulador de tensão apresenta a função de manter a tensão nas extremidades do gerador em um nível regular, de acordo com a alteração da corrente de campo abastecida pelo sistema de excitação. O regulador controla e ajusta a saída da excitatriz assim como a tensão gerada e a potência reativa (Borba, 2011).

O regulador de tensão deve possuir a aptidão de variar com agilidade a tensão de excitação em um extensivo intervalo, por conta de oscilações no sistema, de maneira que mantenha a estabilidade de operação.

Seu funcionamento básico se baseia em comparar a tensão de referência, valor que é definido de maneira antecipada, com a tensão de saída do gerador. Havendo diferença entre esses valores, o regulador atua e controla a saída da excitatriz através de uma malha de controle, para que dessa forma a tensão terminal se estabilize em torno do valor de referência desejado seja ele em qualquer condição de carga. Podemos observar na Figura 7 componentes de um regulador de tensão.

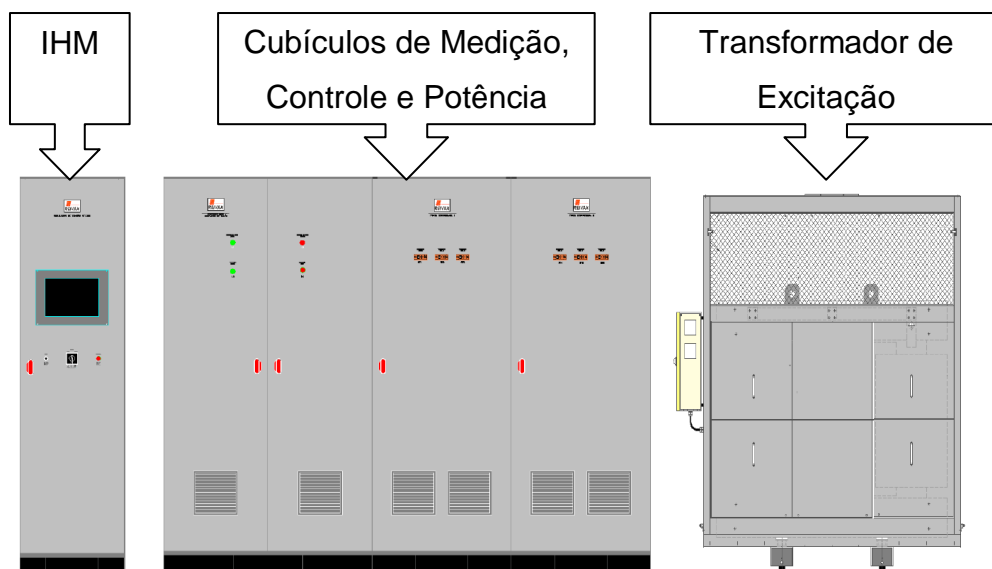


Figura 7 - Componentes de um sistema de excitação estática

Fonte: Reivax (2007)

2.5.7 Regulador de Velocidade

O mecanismo regulador de velocidade tem como função principal manter a velocidade do grupo gerador constante, a fim de que o valor da frequência da tensão gerada se mantenha no seu valor nominal, assim como controlar a potência de acordo com as referências e condições de operação (Reivax, 2016).

Esse mecanismo combina alguns dispositivos que atuam quando há a detecção da variação de velocidade, de maneira que a mantenha constante, como ilustra a Figura 8. Um dos principais dispositivos é o distribuidor, que é constituído de palhetas móveis que possuem seu movimento ajustado e são montadas na tampa da turbina, sendo atuadas por um dispositivo hidráulico, assim, o distribuidor atua regulando a vazão d'água que passa pela turbina. Quando o gerador está sincronizado com o sistema elétrico, esse controle de vazão se faz necessário para aumentar ou reduzir a potência gerada através da turbina quando a velocidade angular ou frequência se afastam do valor de referência, dessa maneira é ajustada a potência elétrica gerada de acordo com a demanda de energia elétrica solicitada pelo sistema.

Assim, pode-se dizer que regulador de velocidade controla a potência mecânica do grupo gerador além da frequência da tensão gerada, onde no caso, a manutenção desse valor de forma nominal é a garantia que o gerador está sincronizado com o sistema elétrico.

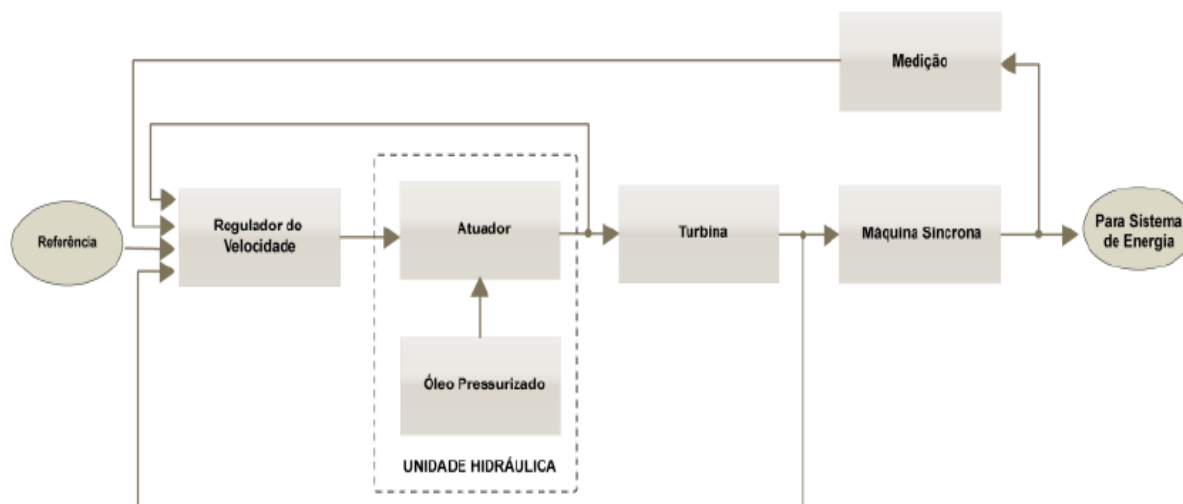


Figura 8 - Diagrama do sistema de regulação de velocidade

Fonte: Reivax (2016)

3 PROCEDIMENTOS DA MODERNIZAÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar e detalhar o processo de modernização realizado na unidade geradora, onde serão realizadas substituições e recuperações de equipamentos essenciais para o funcionamento do gerador.

Nesse processo de modernização, os principais itens a serem analisados por esse estudo serão:

- Recuperação com isolamento dos polos do rotor do gerador;
- Substituição e descrição do novo estator;
- Descrição e especificação dos novos equipamentos utilizados com ênfase nos reguladores de tensão e de velocidade;

3.1 Reisolação dos polos do rotor

Neste item serão mostrados os procedimentos utilizados para que aconteça a reisolação dos polos do rotor. Após desmontagem das bobinas as mesmas deverão ser limpas e inspecionadas visualmente como mostra a Figura 9, e serão feitos ensaios não destrutivos por ultrassom nas áreas soldadas a fim de se verificar se existem trincas. No caso de ser verificada alguma não conformidade pela inspeção ou ensaio, deverá ser corrigida antes de receber a nova isolamento, que será de material Classe F (155°C).

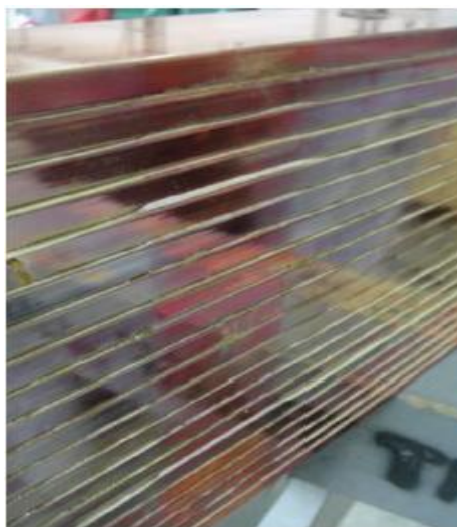


Figura 9 - Inspeção visual da bobina quanto à limpeza

Fonte: Voith (2019)

Os quadros isolantes e de pressão serão desprezados após a desmontagem das bobinas polares, pois eles serão modificados por novos. O quadro isolante utiliza um material de Classe F (155°C) e será fixado na bobina como ilustra a Figura 10.



Figura 10 - Fixação do quadro isolante na bobina

Fonte: Voith (2019)

De maneira que se ilustra a Figura 11, o quadro de pressão deverá ser posicionado sobre o quadro isolante utilizando um dispositivo de prensagem para que o mesmo possa ser soldado, as folgas em ambos os lados deverão ser iguais e mínimas possíveis. Uma folga mínima deve ser almejada para que a penetração da solda seja a menor possível de modo a evitar dano na isolação.



Figura 11 - Soldagem do quadro de pressão

Fonte: Voith (2019)

3.1.1 Ensaios Elétricos

Alguns ensaios elétricos são feitos após a soldagem do quadro de pressão para dizer se a reisolação foi satisfatória, ensaios esse listados abaixo:

- Resistência de isolamento: Esse teste tem por finalidade obter informações a respeito do sistema de isolação, indicando se o objeto esta em condições de ser submetido aos ensaios dielétricos. Deverá ser realizado conforme ilustra o circuito da Figura 12.

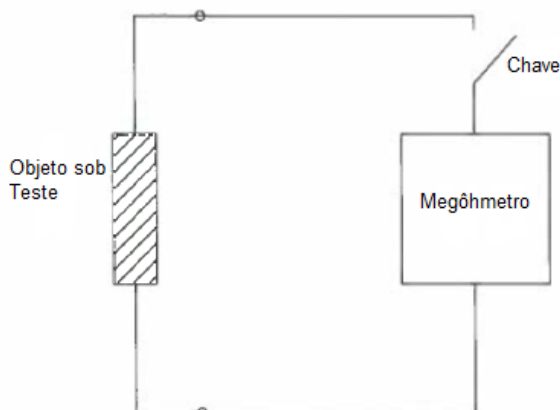


Figura 12 - Esquema de ligação para o ensaio de resistência de isolamento

Fonte: Autores (2020)

- Tensão aplicada: Esse teste deve avaliar a capacidade do sistema de isolação do objeto sob ensaio, quando este for submetido a tensões de ensaio acima da sua tensão nominal. O esquema de ligação deverá ser feito como mostra a Figura 13.



Figura 13 - Esquema para ensaio de tensão aplicada

Fonte: Autores (2020)

- Surge test: Esse teste tem como objetivo avaliar a isolação entre as espiras das bobinas. Esquema de ligação como ilustra a Figura 14.

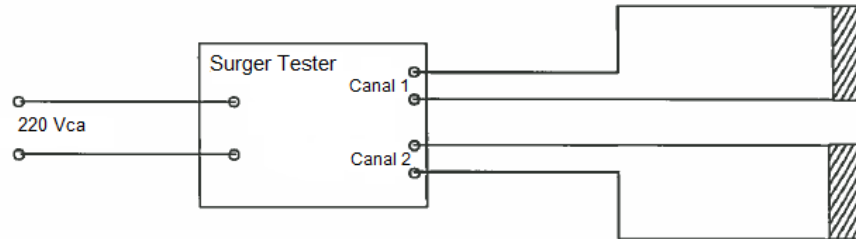


Figura 14 - Esquema de ligação para o ensaio com Surge Tester

Fonte: Autores (2020)

3.2 Descrição do novo estator

Neste item serão abordadas as condições referentes ao novo estator e sua composição com foco relacionado aos novos núcleo e enrolamento do estator, além de trazer características adquiridas após esse processo.

O novo núcleo do estator a ser utilizado, será composto de chapas de aço silício de alta permeabilidade magnética, laminadas a frio e grão não orientado, o que representam baixas perdas. Deverão sofrer tratamento térmico, serem isoladas com verniz resistente a altas temperaturas e insolúvel em óleo hidráulico, em ambos os lados, o que contribuem para a elevação da vida útil.

Este projeto, além dos materiais e procedimentos de fabricação empregados para o novo núcleo do estator deverá garantir que todos os componentes do núcleo sejam livres de distorções ou vibrações ao longo da vida útil da máquina, além de dois fatores de grande importância listados abaixo:

O emprego desses materiais deve ser eficiente para que os efeitos da temperatura e das forças magnéticas não ocasionem deformações do núcleo nem distorções radiais desiguais apreciáveis, visto que esses efeitos são extremamente nocivos para a isolação das chapas e enrolamento, o que causa redução da vida útil desses componentes.

Outro ponto importante do novo núcleo é o de que a perda específica do mesmo não ultrapasse 1.3 W/kg a 1 Tesla e 60 Hz. Portanto, para essa situação, será realizado como informado acima, o emprego da chapa de aço silício de grão não orientado, visto que as mesmas apresentam perdas inferiores a 1,3 W/Kg, 1 Tesla e 60 Hz, que é um dos objetivos do projeto, pois proporcionaram uma considerável diminuição da perda do material magnético do núcleo.

O novo enrolamento do estator será do tipo imbricado, constituído de barras do tipo Roebel, com elementos transpostos, o conjunto de materiais isolantes e de amarração utilizados na montagem do enrolamento do estator deverá ser classe de isolamento F para até 155°C, com fechamento em estrela, para funcionamento sob temperatura ambiente de até 40°C.

3.3 Substituição do regulador de velocidade

No Quadro 1 são expostos alguns dados referentes ao novo regulador de velocidade e ao regulador de velocidade que será substituído, onde pode ser observado o período de fabricação e o tempo de uso e funcionamento do antigo regulador, dado esse que ajuda a comprovar a necessidade de substituição, visto que o novo regulador, terá uma vida útil mais duradoura, peça sobressalentes em maior quantidade e facilidade de aquisição e por ser um equipamento atual, dispõe do que há de mais novo em relação as tecnologias disponíveis, o que é de grande valia para as tarefas de manutenção, operação e eventuais pesquisas de defeitos, contribuindo assim para um melhor rendimento desse equipamento e consequentemente do gerador.

Fabricante	Reivax	Alstom
Modelo	RVX Power	Digipid 1500
Ano de fabricação	2019/2020	2000

Quadro 1 - Dados do atual e antigo regulador de velocidade

Fonte: Autores (2020)

3.3.1 Regulador de velocidade atual

Nesta etapa serão mostradas novas tecnologias utilizadas pelo regulador atual, que não eram encontradas no antigo, de modo que fique evidente os benefícios trazidos por essa troca.

O equipamento é composto de uma IHM gráfica local, sendo a mesma a principal interface de operação do sistema, onde através da Figura 9 é possível visualizar a estrutura de telas do RV e as possíveis ações que podem ser realizadas. Esse equipamento traz grandes vantagens e funcionalidades, descritas a seguir.

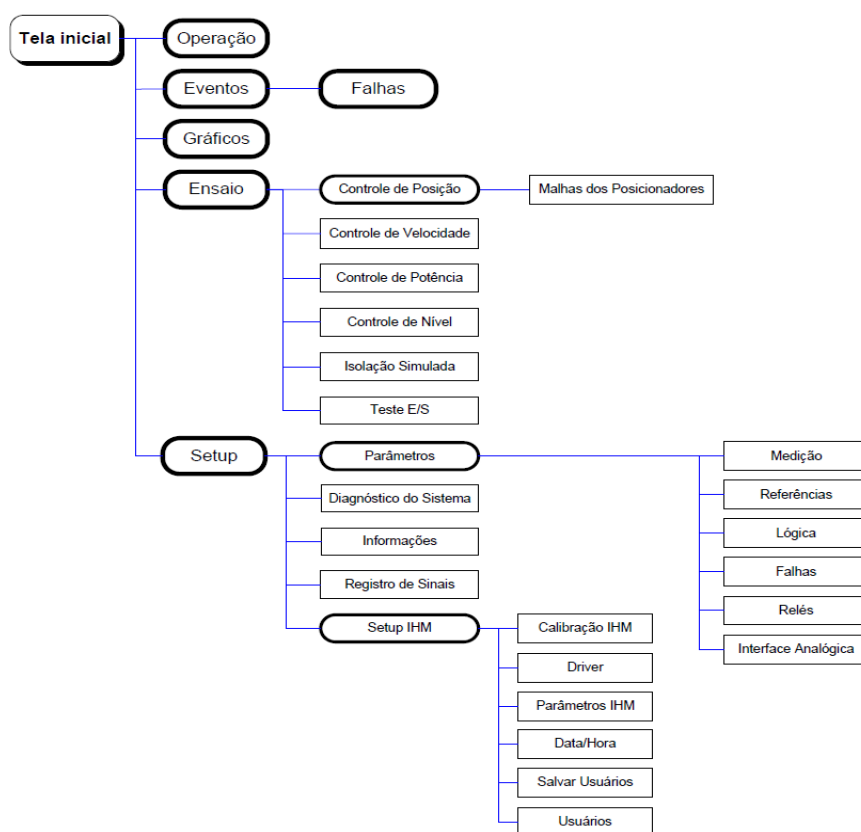


Figura 15 - Estrutura de telas da IHM

Fonte: Reivax (2016)

Através da aba de operação, é possível realizar ajuste de potência ativa, partida do gerador e tomada de carga e parada normal e em emergência. Esses processos podem ser iniciados de dois modos a partir da condição da chave seletora no painel da IHM, podem ser através do comando em modo de operação local, ou em modo de operação remoto (via protocolo de comunicação ou comando externo via sistema supervisor).

Na aba de falhas, como é mostrado na Figura 10, as mesmas são memorizadas, e a condição de falha permanece ativa até que o comando de rearme seja ativado, limpando as falhas em que as condições que a atuaram não se encontram mais presentes. A detecção é feita por rotinas de falhas, proteções e lógicas convencionais em relés auxiliares.



Figura 16 - Falha e registros de eventos

Fonte: Reivax (2016)

Na seção de gráficos, se destaca o gráfico de tendências, que mostra em tempo real, a tendência das principais grandezas, como: potência ativa e reativa, frequência, tensão terminal e referência.

Na tela de ensaios, são ajustados os parâmetros das malhas de controle de posição, velocidade e potência e na tela de setup são realizados os ajustes que não estão diretamente relacionados com a malha de controle.

Essas novas condições são consideradas de grande importância, visto que o monitoramento da operação do equipamento fica mais preciso para evitar possíveis desarmes, em um desligamento indevido do gerador o tempo de pesquisa de defeito é otimizado através das indicações de falhas e eventos, a operação do gerador se torna mais prática e a parametrização das condições de funcionamento e medição do gerador são facilitadas, visto que podem ser realizadas através da IHM, sendo descritas no assunto a seguir.

3.3.2 Verificações iniciais

Inicia-se aqui o processo de substituição e comissionamento do novo equipamento, onde serão descritos as etapas e ensaios necessários para a execução. São realizadas algumas verificações, onde o novo regulador de velocidade é inspecionado, averiguando a chance de que tenha ocorrido algum dano físico durante o seu transporte ou algum componente quebrado. Deve-se verificar também as tensões de alimentação do equipamento assim como as tensões geradas por ele com o intuito de garantir confiabilidade e seu funcionamento de maneira adequada. Da mesma maneira, são executados comandos de todas as entradas e saídas, sejam elas analógicas ou digitais das interfaces. O objetivo é validar o projeto de interface e também toda a integração do equipamento à lógica de funcionamento.

3.3.3 Ensaio em água morta

Os ensaios em água morta são realizados com o conduto totalmente drenado ou com água no conduto até o tubo de sucção (caracol drenado), em ambas as situações, não tem fluxo d'água e necessitam do grupo turbina e gerador parado. Esse procedimento tem como propósito garantir a segurança para todo o conjunto, garantir que não haja vazamento no conjunto regulador, verificar a movimentação das válvulas e atuadores além do ajuste dos transdutores de posição e o ajuste das malhas de controle do atuador e das válvulas. Este teste se faz necessário para que os dispositivos estejam prontos para operar, para que se dê início aos testes dinâmicos a vazio e em carga.

3.3.4 Ensaio dinâmico a vazio

Para realizar essa etapa, o fluxo d'água deve estar presente e os primeiros ensaios devem ser realizados de modo local em todos os painéis com acompanhamento dos responsáveis.

Os ensaios a vazio possuem o objetivo de ajustar sua operação com rotação nominal a vazio, ou seja, em speed no load, deixando o gerador em condições para o sincronismo. Os ensaios a vazio realizados são:

- Giro mecânico: Esse teste se baseia em abrir o atuador em aproximadamente 5% em um pequeno período de tempo, de modo que a turbina gire sem atingir a velocidade nominal. Esse ensaio tem o intuito de verificar possíveis obstruções ao movimento da turbina.
- Partida gradativa: Neste teste é realizado o aumento gradativo da velocidade de giro da turbina em patamares determinados até que seja atingida a velocidade nominal. São observadas as curvas de aquecimento dos mancais e a determinação dos parâmetros de abertura do limitador de partida 1 e partida 2 e a velocidade de comutação entre os dois.
- Partida automática: Esse teste garante uma boa parametrização do regulador de velocidade, visando confirmar os valores do limitador de partida 1 e 2 e a velocidade de comutação entre eles, para que se obtenha rapidez na partida, ausência de oscilações e pouco overshoot.
- Parada normal: Esse teste ocorre após a partida automática, com a intenção de verificar que todos os procedimentos para a parada da unidade geradora foram corretamente executados, como por exemplo a aplicação de freios e travas.
- Estabilidade em regime de regulação a vazio: A unidade geradora deve estar com a velocidade nominal e excitada, assim é observado seu comportamento na busca da estabilidade da tensão terminal e corrente de campo.

3.3.5 Ensaio dinâmico em carga

- Regime de estabilidade em carga: A unidade geradora é colocada em carga para que possa ser registrado seu comportamento, e a potência, tensão terminal e corrente de campo são observados para garantir que estejam estáveis, sem oscilação.

- Rejeição de carga: Estes ensaios tem o objetivo analisar o comportamento do regulador diante de uma retirada brusca de carga, são realizados de maneira progressiva a 25, 50, 75 e 100% de rejeição de carga. A partir deste teste é possível obter a sobrevelocidade atingida, o tempo de restabelecimento da velocidade nominal e o tempo total de fechamento do atuador.

3.4 Substituição do regulador de tensão

Neste item serão abordadas as características e melhorias que o novo regulador de tensão possui, além de analisar e apresentar os testes necessários para sua substituição.

No Quadro 2 são apresentados alguns dados relacionados ao novo e antigo regulador de tensão, assim como exposto no assunto anterior, esses dados em conjunto com o presente estudo ajudam a comprovar a necessidade de modernização desse equipamento, descrevendo os avanços e ganhos que a substituição oferece ao empreendimento.

Fabricante	ABB	Reivax
Modelo	Unitrol 6800	RVX Power
Ano de fabricação	2019/2020	1999

Quadro 2 - Dados do atual e antigo regulador de tensão

Fonte: Autores (2020)

3.4.1 Regulador de tensão atual

Quando comparado ao sistema a ser trocado, o novo sistema do regulador de tensão possui diversos benefícios que serão mostrados a seguir, que vão desde melhores características de desempenho, uma maior gama de funções de controle, aplicações mais modernas e por ser tratar de um equipamento altamente atual, possui um serviço de suporte bem desenvolvido além de peças sobressalentes caso necessitem ser empregadas no decorrer de sua vida útil.

Este último fato se mostra bastante relevante, diante da dificuldade que se encontrava com o antigo regulador de tensão com relação a peças sobressalentes, por exemplo, o cartão e módulo eletrônico que no período recente apresentaram problemas recorrentes até o ponto em que não foi possível a troca por novos modelos pelo fato desses equipamentos serem obsoletos e o fabricante não executar novas unidades, assim, tornaram-se necessários reparos para que o equipamento continuasse em funcionamento, porém com um aumento no número de interrupções e falhas devido o elevado grau de desgaste dos mesmos.

Uma característica positiva e sendo um grande diferencial do novo regulador, o terminal de controle para sistemas de excitação (ECT), é constituído de uma IHM que pode ser observada na Figura 17, que também apresenta o regulador de tensão a ser instalado e o regulador que será substituído, respectivamente.



Figura 17 - Reguladores de tensão

Fonte: Autores (2020)

O ECT é um computador industrial, dotado de uma IHM que proporciona o monitoramento e operação do sistema de excitação e as principais tarefas e benefícios adquiridos através de sua utilização em comparação ao antigo sistema, são descritos a seguir no Quadro 3.

Tarefas principais	Benefícios
Operação do sistema de excitação	Facilidade na operação / supervisão e leitura das grandezas elétricas do sistema de excitação e do gerador.
Registro de alarmes	Grande importância na atuação em tempo real pela equipe de operação e na procura de defeitos pela manutenção.
Comissionamento	Ajuste de parâmetros e registro dos testes através da IHM, sem necessidade de conexão com computador externo.
Ajuste de parâmetros	Facilidade para ajuste de parâmetros e limites de funcionamento do regulador de tensão.
Gráficos de tendências	Mostra a tendência das principais grandezas, como: potência ativa e reativa, frequência e tensão terminal.

Quadro 3 - Tarefas principais

Fonte: Autores (2020)

O regulador de tensão a ser utilizado possui um sistema de controle que se sobressai por apresentar uma alta velocidade de processamento, reunindo rápido controle em malha fechada e um rápido ciclo de tempo para processamento de entradas e saídas digitais e analógicas. O software utilizado reúne as funções de monitoramento e proteção e de regulação.

Dentre essas funções, se destaca como um fator diferencial a dinâmica do estabilizador do sistema de potência, ou PSS, que possui a função de amortecer oscilações eletromecânicas oriundas da unidade geradora em sincronismo com o sistema. Essas oscilações são provenientes de falhas na rede, oscilações de potência ativa ou operação aproximada do limite de estabilidade da rede.

Diante disso, com a utilização do PSS, é buscada uma melhoria no gerador para contribuir com a estabilidade da rede, e no caso em estudo, por ser tratar de sistema de excitação estática e levando em conta a elevação direta da corrente do rotor, a consequência do PSS se faz muito efetiva. Sendo assim, as oscilações de potência causadas por mudanças bruscas de carga são rapidamente atenuadas pelo fato do estabilizador atuar realizando ajustes na tensão terminal e a estabilidade da potência.

3.4.2 Verificações iniciais

Nesta etapa, assim como na substituição do regulador de velocidade, inicia-se o processo de substituição e comissionamento do novo componente, onde serão retratados os estágios e ensaios necessários para a execução. Aqui o regulador de tensão é inspecionado e são feitas mais algumas observações para verificar se possa ter ocorrido algum dano físico durante o seu transporte. São verificados também os circuitos de alimentação com o objetivo de garantir o correto funcionamento, assim todas as fontes são medidas e devem estar dentro dos limites aceitáveis do circuito. Da mesma maneira, são validadas todas as entradas e saídas, analógicas e digitais, das interfaces. Também são feitos testes de isolamento nos cabos de potência do transformador de excitação e saídas do campo do gerador, utilizando-se do instrumento megôhmetro.

3.4.3 Ensaios a vazio do regulador de tensão

Os ensaios a vazio são realizados de forma local e manual e possuem o objetivo de preparar o gerador para operar de forma sincronizada com o sistema. Para esse ensaio é necessário ter os dispositivos elétricos, mecânicos e hidráulicos prontos para operar, assim como todo o sistema de proteção.

De maneira anterior aos ensaios dinâmicos, é cabível verificar o funcionamento da ponte de tiristores, onde através da IHM, são regulados os sinais de controle das pontes, a realização ocorre através da alteração do ângulo de disparo dos tiristores de forma gradual, e o sinal de saída é monitorado por um osciloscópio e a análise da forma de onda visa a confirmar a correta operação. Os ensaios a vazio realizados são:

- Modo de controle manual: Este ensaio é realizado para verificar a atuação e o tempo de resposta do regulador de tensão de forma gradual, em pontos distintos de sua curva. Possivelmente, podem ser aplicados degraus na referência aparentando oscilações na rede, com o intuito de ter um melhor ajuste na dinâmica da malha de controle. Nesse modo, o controle é através do monitoramento da corrente de campo.
- Modo de controle automático: O controle automático é o modo de controle mais utilizado e de maior confiabilidade, esse controle é realizado através do monitoramento da tensão, a qual é utilizada como a referência, tornando esse modo mais preciso e confiável. Neste teste, é utilizado somente o comando de excitar, onde os próximos passos são executados automaticamente.
- Comando de desexcitação: Durante os ensaios a vazio, é realizado o teste de desexcitação, através de comando local e comando de emergência, com o intuito de avaliar o comportamento dessa etapa, que é de suma importância para a integridade do equipamento. Nesse teste é verificado principalmente o comportamento do equipamento onde após o comando de desexcitação, é verificado o tempo para concluir o processo e abertura do disjuntor de campo para que a corrente de campo seja extinta, onde em uma situação de emergência, o mesmo deve abrir de maneira instantânea.

3.4.4 Ensaio em carga do regulador de tensão

Para a realização destes ensaios, o gerador precisa estar sincronizado com o sistema, diante disso, o gerador estará operando em teste, podendo ocorrer possíveis desarmes forçados onde são testados a confiança e segurança dos equipamentos e de todo o conjunto. Essa operação é estabelecida através do centro de controle da empresa com o operador nacional do sistema, ONS. Estes ensaios têm como principal objetivo simular as situações reais, possibilitando os ajustes nas malhas de controle, limitadores dinâmicos entre outros. Os ensaios em carga realizados são:

- Comutação de modo de controle: O regulador de tensão pode alternar seu modo de controle de três formas diferentes, através da tensão terminal, potência reativa e corrente de campo. No modo de tensão terminal, conhecido por modo de controle automático, o regulador ajusta a corrente de campo para manter a tensão terminal no valor pré-estabelecido. O controle através da potência reativa possui o propósito de ajustar o reativo para o sistema de forma autônoma do valor da tensão terminal, esse controle permite uma maior precisão da potência reativa das unidades geradoras. O outro modo de controle utilizado é através da corrente de campo, esse modo também é conhecido por controle manual. Ele é normalmente utilizado para ensaios, e só atua de forma efetiva, caso ocorra falha na medição dos TP's, não tornando possível o controle automático. O motivo desse modo não ser utilizado se deve ao fato de não monitorar os valores de tensão terminal e potência, diante disso, não é confiável para operar com o gerador sincronizado. Portanto, esse teste é realizado para avaliar o funcionamento do conjunto quando ocorre a comutação, sendo que o recurso de comutação do modo de controle é exigido pelo ONS e o mesmo deve ocorrer de forma suave, para que não provoque oscilações na rede.
- Limitadores dinâmicos: Os limitadores dinâmicos do regulador de tensão operam em cima dos limites operacionais da unidade geradora conforme sua curva de capacidade. No decorrer dos ensaios de comissionamento, são impostos todos os limites para comprovar a correta atuação do regulador de tensão.
- Rejeição de carga: Quando ocorre uma anormalidade relevante na unidade geradora, e que venha a provocar o seu desarme, geralmente é efetuada a retirada das potências ativa e reativa, fechando primeiramente o distribuidor do regulador de velocidade, para depois ocorrer a abertura do disjuntor do gerador, sendo essa situação conhecida por rejeição de carga. Estes ensaios tem o objetivo analisar o comportamento do regulador e os demais componentes diante de uma retirada repentina de carga, são realizados de maneira progressiva com relação à potência ativa.

4 ESTUDO DE CASO

O gerador utilizado como base para esse estudo vem apresentando elevado nível de indisponibilidade operacional, esse aumento vem sendo motivado pelo aumento da frequência de reparos, sejam eles de caráter corretivo ou preventivo, devido a já elevada vida útil e desgaste de seus equipamentos e a escassez de peças sobressalentes, ocasionando dessa forma a redução da disponibilidade operacional.

Neste capítulo, serão apresentadas as características do gerador antes e após o processo de modernização para constatar os possíveis ganhos adquiridos. Também serão apresentados os indicadores de indisponibilidade operacional detalhando as horas de desligamentos programadas e as horas de desligamentos forçadas, as recorrentes falhas que ocasionam os desligamentos forçados, além do impacto financeiro causado pela atual situação do gerador.

4.1 Características técnicas e histórico recente do gerador antes da modernização

Visando entender melhor os problemas e as condições do gerador em um período recente, será apresentado um breve histórico relacionado aos últimos 10 anos do gerador, onde é possível observar a necessidade de intervenção e melhorias no mesmo, melhorias essas que serão realizadas no estator e nos polos do rotor.

Em meados de 2010 foram realizados serviços de manutenção no gerador. No rotor foram realizadas inspeções e verificações do sistema isolante e das conexões, realizada pintura com tinta protetiva e foram substituídos dois polos. No estator foram realizadas verificações de toda parte estrutural, inspeção no sistema isolante e conexões e realizada pintura protetora com tinta eletroisolante. No final de 2014, ocorreu um desarme que após verificações, foi necessário reparo em 5 polos do rotor e reparo em 54 barras do enrolamento estático. Em meados de 2016, houve mais um desarme causado por falha na isolação de uma das barras do estator. Foi realizado reparo emergencial e constatado que a isolação principal estava com elevado nível de envelhecimento térmico apresentando níveis avançados de deterioração, estando no final da vida útil. No início de 2018 ocorreu

outro desarme e após verificação, foi constatado que a causa foi devido a curto circuito em um dos polos, sendo o mesmo substituído. Nas verificações foi percebida uma elevada deterioração por envelhecimento. Em meados de 2019 começou a modernização dessa unidade geradora.

Diante disso, para que seja possível identificar os ganhos após o processo de modernização, é necessário conhecer os dados do gerador antes do mesmo, como mostra o Quadro 4.

Potência nominal unitária	51,76 MVA
Fator de Potência	0,85
Tensão no terminal do gerador	6,6 kV
Rotação Nominal	720 rpm
Quantidade de polos	10
Corrente nominal	4.527 A
Corrente de excitação	650 A
Frequência nominal	60 Hz
Elevação de temperatura	Classe B

Quadro 4 - Dados do gerador antes da modernização

Fonte: Autores (2020)

4.2 Indicadores

Neste item serão apresentados os dados de indisponibilidade operacional e de falhas desse gerador em certo período, para mostrar o quanto era necessário realizar a modernização.

No Quadro 5 podem ser observadas as horas de indisponibilidade operacionais da unidade geradora que está sendo o objeto de estudo desse trabalho, denominada UG#1, e das unidades geradoras coirmãs. Essas horas de indisponibilidade operacionais são calculadas de acordo com a soma de horas de desligamento forçado, que são as horas indisponíveis devido às falhas e desarmes ocorridos onde o gerador se encontra impedido e liberado para manutenção corretiva e as horas de desligamento programado, que são as horas onde o gerador também se encontra impedido, porém neste caso está liberado para manutenção preventiva.

Ano	Horas desligamento programado			Horas desligamento forçado		
	UG#1	UG#2	UG#3	UG#1	UG#2	UG#3
2010	1181,18	1025,98	243,55	1,62	801,17	0,00
2011	282,95	210,70	216,95	13,23	1022,27	105,37
2012	477,28	167,60	434,17	278,40	12,18	92,52
2013	166,70	563,12	79,33	187,15	46,32	22,97
2014	486,58	73,28	34,87	1812,22	16,13	10,72
2015	207,78	308,87	146,43	40,78	16,87	40,80
2016	79,00	168,53	251,18	1760,10	118,83	31,30
2017	290,93	140,23	1296,52	121,47	9,10	27,17
2018	24,30	20,48	29,95	952,62	3725,00	0,07
Total	3196,72	2678,80	2732,95	5167,58	5767,87	330,90

Quadro 5 - Horas de indisponibilidade

Fonte: Autores (2020)

Como mostra no Gráfico 1, no período de 2010 a UG#1 teve uma longa parada programada para manutenção, como citado anteriormente. Depois de ocorrida essa manutenção, a unidade geradora se manteve estabilizada em relação às horas de desligamento programado. Esse mesmo gráfico apresenta um destaque para UG#3 no ano de 2017, devido ao programa de parada de unidades de usinas (PPUU), que é o período em que é realizada a manutenção preventiva na unidade geradora. Ao lado direito, é possível observar o total de horas programadas indisponíveis, evidenciando a elevada quantidade de horas do gerador observado nesse estudo.

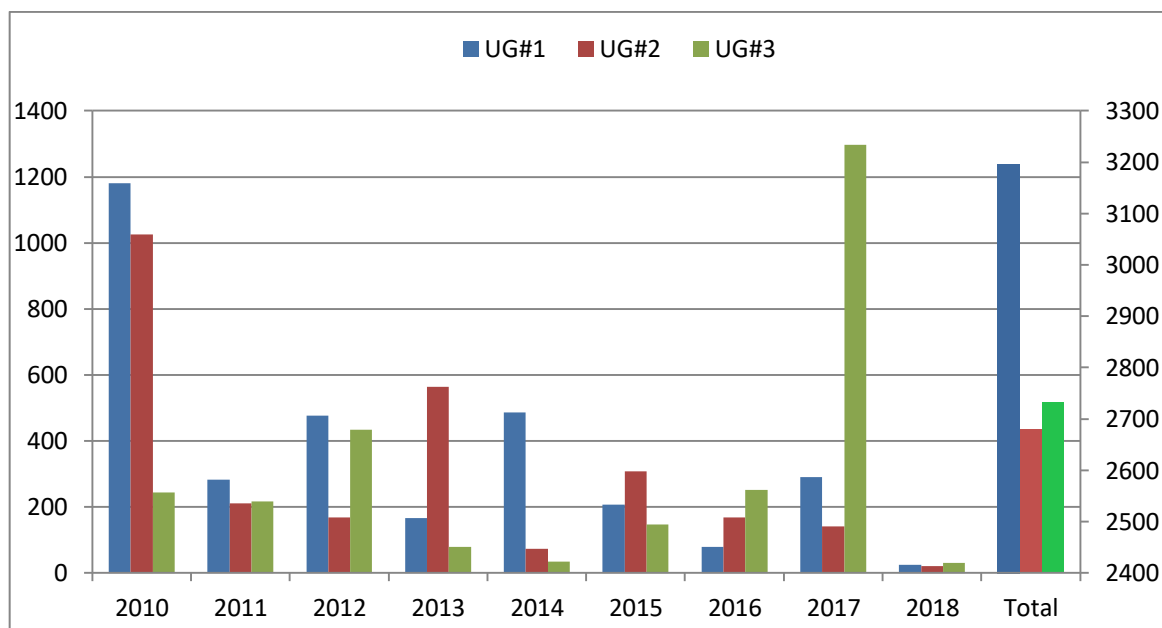


Gráfico 1 - Horas de desligamento programado

Fonte: Autores (2020)

Pode ser observado no Gráfico 2, que no ano de 2014 houve uma elevação das horas indisponíveis por desligamento forçado devido a falha da UG#1, representado por um período maior para fazer os devidos reparos em seus equipamentos, o mesmo se repetiu nos anos de 2016 e 2018, representando assim uma tendência de falhas e a comprovação de maiores necessidades de manutenção no gerador. Este gráfico apresenta uma falha intempestiva da UG#2 no ano de 2018 devido a problemas no seu estator, esta falha foi considerada inesperada, pois diferente da UG#1, essa unidade geradora não possuía um histórico de falhas recorrentes causadas pelo estator.

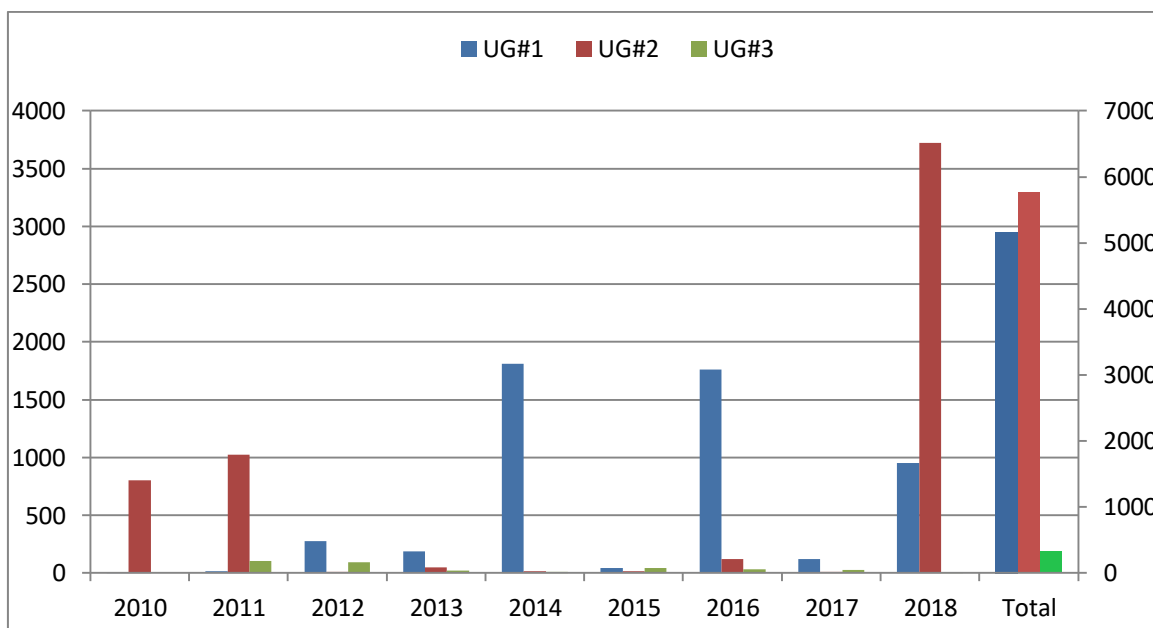


Gráfico 2 - Horas de desligamento forçado

Fonte: Autores (2020)

Para uma melhor análise do comportamento da indisponibilidade forçada da UG#1 deve ser verificado o Gráfico 3, que apresenta as horas de desligamento forçado sem o tempo em que a UG#2 necessitou ficar parada por causa dessa falha intempestiva. Dessa forma percebe-se que o desempenho do gerador não é satisfatório, sendo confirmado com o total de horas de desligamento forçado.

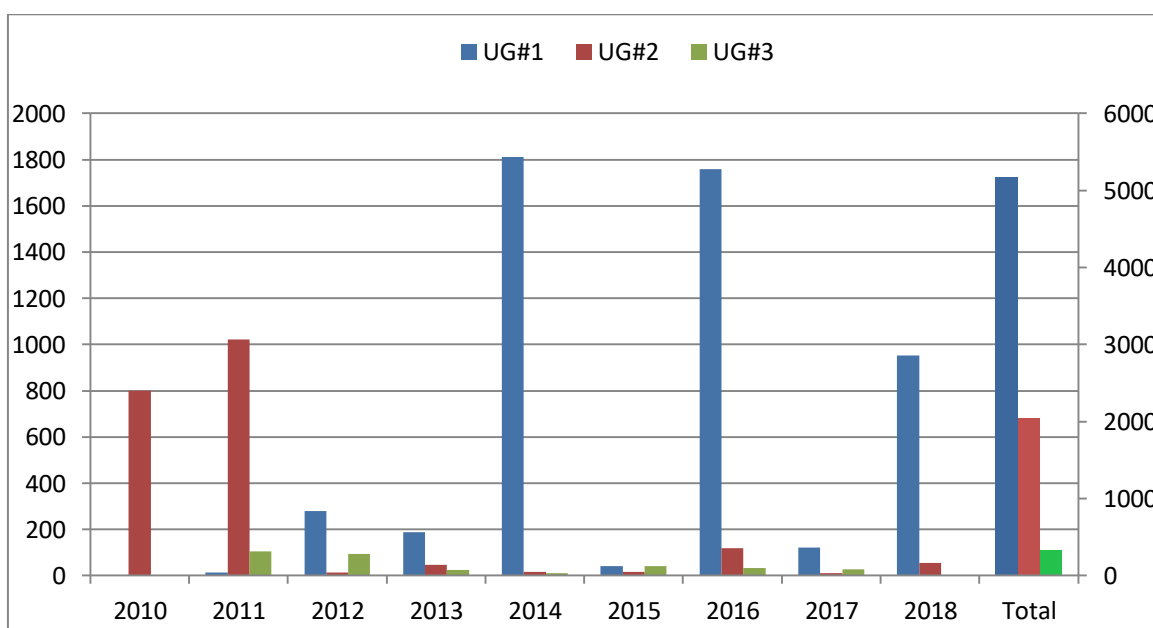


Gráfico 3 - Horas de desligamento forçado

Fonte: Autores (2020)

No Quadro 6 são apresentadas as falhas mais relevantes no período de 2012 a 2019, essas falhas compõem as horas de indisponibilidade forçada mostrada acima, dessa forma, pode-se observar que as mesmas estão diretamente ligadas aos dispositivos que estão sendo mencionados nessa modernização, que são os reguladores de velocidade e tensão, e o gerador, este sendo compreendido pelo estator e o rotor. Também são apresentadas as falhas causadas por outros equipamentos, por exemplo: vibração dos mancais, sistema de resfriamento e lubrificação, além de falhas operacionais. São apresentadas também o quanto de megawatt essa unidade geradora deixou de gerar por causa de cada falha listada abaixo.

(continua)

Equipamento	Causa básica apurada	MW interrompido
Regulador de velocidade	Em investigação (2012)	16,13
	Defeito/falha do sistema de regulação de velocidade (2014)	84,33
	Deterioração por envelhecimento (2014)	569,07
	Deterioração por envelhecimento (2015)	239,80
	Falha na lógica do sistema digital (2016)	613,07
	Falha no sistema de regulação de velocidade (2019)	65,27
	Falha no sistema de regulação de velocidade (2019)	297,73
Regulador de tensão	Falha em equipamento /componente (2013)	159,13

(conclusão)

Equipamento	Causa básica apurada	MW interrompido
Regulador de tensão	Execução deficiente de manutenção (encontrados 03 furos no isolamento das barras do estator) (2014)	20091,13
	Defeito / falha em sistema de excitação (2016)	235,40
	Defeito / falha em sistema de excitação (2016)	319,00
	Falha em sistema de excitação(2017)	1310,47
	Deterioração por envelhecimento(2017)	2876,13
	Deterioração por envelhecimento(2018)	465,67
	Deterioração por envelhecimento(2019)	6453,33
Gerador	Em investigação (2012)	889,53
	Em investigação (2012)	11309,47
	Em investigação (2014)	2684,73
	Falha em gerador (2016)	7372,93
	Deterioração por envelhecimento (2018)	12593,53
Outros	-	37257,22

Quadro 6 - Falhas em equipamentos

Fonte: Autores (2020)

Pode ser observado através do Gráfico 4, a participação de cada equipamento no total das falhas citadas acima, sendo usado como referência para o cálculo o megawatt interrompido da unidade geradora. Pode ser percebido que o gerador e o regulador de tensão juntos, são responsáveis por 63% dessas falhas, uma participação relevante que comprova a complexidade das falhas nesses equipamentos, que por vezes acabam ficando um longo período indisponíveis. A parcela de outros equipamentos ficou com uma porcentagem relevante, pois nela estão inclusos desde falhas operacionais que ocasionaram desarmes da unidade geradora, interrompendo os megawatts gerados, até falha em bombas do sistema de lubrificação, porém, mesmo assim essa parcela representa menos da metade, mais precisamente 35% do total da potência interrompida pelas falhas.

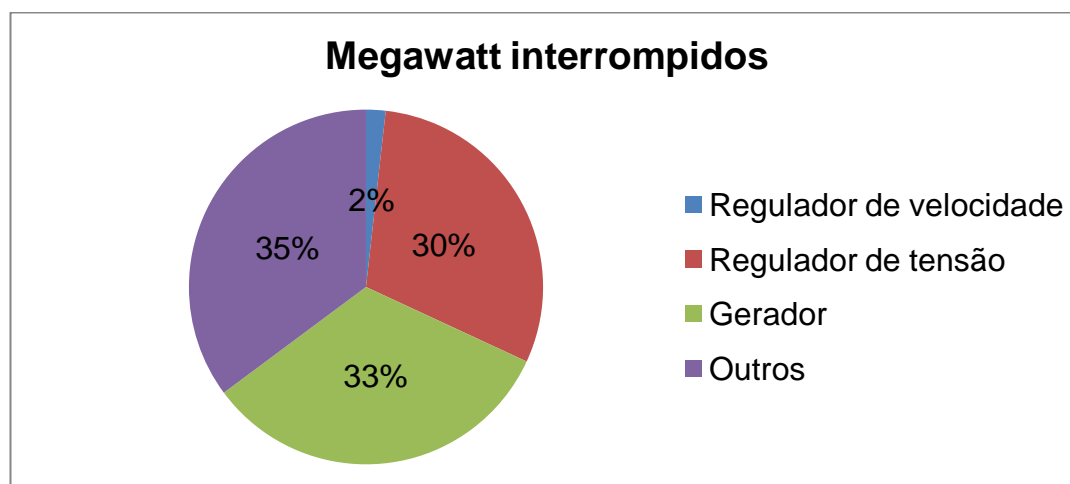


Gráfico 4 - Megawatt interrompidos

Fonte: Autores (2020)

No Gráfico 5 são analisadas a participação de cada equipamento em relação ao número total de falhas do período observado, sem levar em consideração no cálculo o tempo de indisponibilidade e o megawatt interrompido, apenas a quantidade de falha por cada equipamento. Os reguladores de velocidade e tensão além do gerador representam uma fatia semelhante em relação a participação nas falhas do gerador, como pode ser observado. A parcela de outros equipamentos tem uma participação considerável com 57%, sendo fundamentada pelo elevado número de falhas causadas por esses equipamentos, mas ao comparar com o Gráfico 4, pode-se observar que essa participação diminui, isso se justifica pelo fato dessas

falhas, mesmo acontecendo em uma quantidade relevante, apresentam um custo menor considerando a potência interrompida.

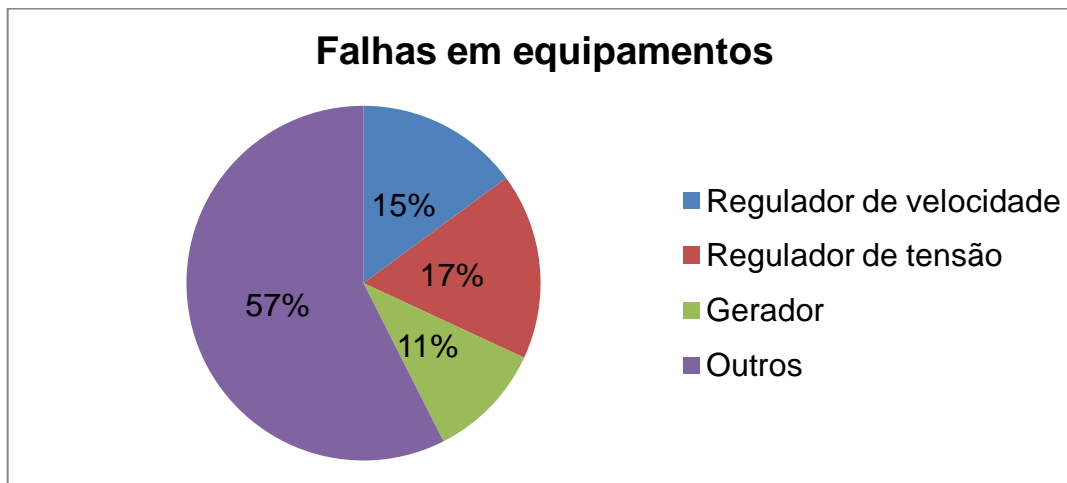


Gráfico 5 - Falhas em equipamentos

Fonte: Autores (2020)

São apresentadas no Gráfico 6 as parcelas de cada equipamento em relação a quantidade total de falhas, mas apenas considerando os equipamentos principais considerados na modernização, retirando a participação dos outros equipamentos. Dessa forma, observa-se que a parcela dos equipamentos permanece semelhante e com uma representatividade nas falhas do gerador, principalmente considerando as informações em relação a potência interrompida por cada equipamento como foi mostrado acima.

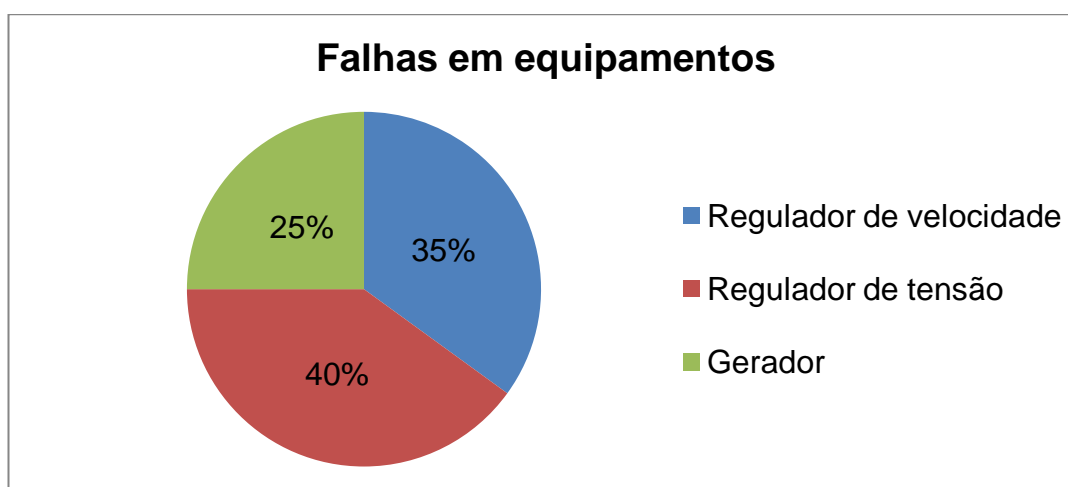


Gráfico 6 - Falhas em equipamentos 2

Fonte: Autores (2020)

4.3 Valor do megawatt interrompido

Neste item serão apresentados os valores sem correção da inflação de quanto essa unidade geradora deixou de obter devido ao tempo de indisponibilidade operacional. Esse cálculo utiliza como base o valor médio mensal do megawatt, que é calculado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e possui o nome de preço de liquidação das diferenças (PLD). Para achar o valor do megawatt interrompido foi criada uma planilha de Excel, conforme apresentada no Anexo A, de modo que ficasse mais prático o cálculo a ser realizado, nessa planilha foram inseridos os dados das horas de indisponibilidade da unidade geradora, o valor mensal do PLD e o valor do megawatt gerado por minuto, que equivale a 0,7333333333333333. Depois de ser encontrado o valor mensal do megawatt interrompido, foram somados todos os meses do ano para chegar ao montante anual final. A fórmula utilizada para o cálculo foi a seguinte:

$$V = (((H \times 60) + M) \times 0,7333333333333333) \times PLD$$

V = Valor mensal do megawatt interrompido

H = Horas de indisponibilidade

M = Minutos de indisponibilidade

PLD = Preço de liquidação das diferenças

Exemplo de cálculo utilizando como referência o mês de outubro de 2014:

$$H = 744h$$

$$M = 0min$$

$$PLD = 776,88$$

$$V = (((744 \times 60) + 0) \times 0,7333333333333333) \times 776,88$$

$$V = 25.431.943,68 \text{ reais}$$

Como pode ser observado anteriormente no Quadro 5, desde 2010, devido a falhas recorrentes e manutenções periódicas, essa unidade geradora ficou um tempo considerável indisponível, o que fez ela deixar de gerar energia e conseqüentemente essa energia deixou de ser vendida. São apresentados na Tabela 1 os resultados dos cálculos dos valores sem correção da inflação de quanto

o gerador deixou de produzir por conta do tempo indisponível, um destaque é o ano de 2014, que foi um ano em que o PLD estava alto por causa da seca e teve também uma grande manutenção nessa unidade devido a problemas no seu estator e polos, como já citados anteriormente.

Tabela 1 - Valores do megawatt interrompido

Ano	Valor do megawatt interrompido (R\$)
2010	6.736.643,66
2011	566.079,58
2012	7.259.883,14
2013	5.182.910,59
2014	78.598.890,63
2015	2.263.771,89
2016	5.383.810,07
2017	7.958.928,76
2018	6.999.152,35
Total	120.950.070,66

Fonte: Autores (2020)

O valor total sem correção da inflação, que deixou de ser obtido nos últimos nove anos analisados ao longo do estudo foi de R\$ 120.950.070,66 sendo que nesse resultado estão incluídos apenas a parcela referente ao tempo de indisponibilidade operacional e a potência interrompida, não estão incluídos outros gastos como o de equipamentos substituídos pelas falhas, o acréscimo do gasto com a equipe de manutenção e os reparos realizados. Para efeito comparativo, o processo de modernização descrito no decorrer do trabalho, considerando a substituição dos reguladores de velocidade e tensão além da reforma do gerador, tem um custo estimado de R\$ 8.900.000,00 ficando bem abaixo do valor total observado acima que não foi obtido por conta da potência interrompida.

4.4 Características técnicas após a modernização

Aqui são apresentadas as características técnicas do gerador após o processo de modernização, como é possível visualizar através do Quadro 7. Dessa forma, é possível realizar um comparativo com os dados apresentados no Quadro 1 de forma a identificar os ganhos após esse processo.

Potência nominal unitária	55 MVA
Fator de Potência	0,80
Tensão no terminal do gerador	6.6 kV
Rotação Nominal	720 rpm
Quantidade de polos	10
Corrente nominal	4.811 A
Corrente de excitação	663 A
Frequência nominal	60 Hz
Elevação de temperatura	Classe B

Quadro 7 - Dados do gerador após a modernização

Fonte: Autores (2020)

As principais diferenças encontram-se na potência nominal unitária e no fator de potência, antes esses valores eram de 51,76 MVA e 0,85 respectivamente. Após a modernização, esses valores passam a ser de 55MVA para a potência nominal e 0,8 para o fator de potência. Sendo assim, é possível perceber o ganho que essa alteração irá contribuir para o projeto.

Antes da modernização, o gerador possuía uma potencia de $51,76 \angle 31,78^\circ$ MVA, neste caso com uma potência ativa de 44MW e potência reativa de 27,26MVar.

Após a modernização o gerador irá possuir uma potência nominal de $55 \angle 36,87^\circ$ MVA e permanecerá com uma potência ativa de 44MW, visto que não foi feito nenhum reparo ou melhoria na turbina, porém sua potência reativa será de 33MVar, um ganho de aproximadamente 6MVar de potência reativa devido as mudanças realizadas no estator, enrolamento estático e fator de potência.

Esse ganho de potência reativa tem sua importância no controle da tensão do sistema, visto que é utilizado para fornecer as parcelas de reativo necessárias para o sistema manter a tensão em seus valores nominais, auxiliando dessa maneira para a estabilidade do sistema.

5 COMENTÁRIOS E CONCLUSÃO

De acordo com o que foi apresentado, é possível perceber a necessidade de se fazer a modernização com o principal foco nos componentes e equipamentos mencionados no trabalho. Dessa forma torna-se claro que com a execução dessas melhorias, os objetivos da modernização proposta serão atingidos, considerando-se os fatos mencionados abaixo:

- **Atualização tecnológica:** Aqui destacam-se os benefícios referentes às melhorias tecnológicas que a modernização irá trazer. Essa melhoria se deve pela utilização de equipamentos mais modernos e de uma considerável evolução tecnológica, que podem ser comprovados através da aplicação de componentes e instrumentos, como: troca do núcleo do estator e das bobinas por barras estatóricas, além do reisolamento dos pólos, com a isolação classe “F”; novos sistemas de reguladores de velocidade e de tensão, que além da deterioração dos antigos equipamentos, apresentam ganhos e uma modernidade elevada apresentada anteriormente.
- **Confiabilidade do equipamento:** Nesse processo de modernização, a troca e substituição dos equipamentos descritos anteriormente, por si só já contribuem para o retorno ou elevação da confiabilidade e disponibilidade do gerador, visto que os equipamentos a serem substituídos já vinham apresentando antecedentes operacionais insatisfatórios e um elevado grau de atraso técnico. Assim, esta elevação de confiabilidade provoca como vantagem, principalmente a limitação das intervenções e os custos com manutenção corretiva.
- **Diminuição do tempo de manutenção:** Assim como mencionado sobre a confiabilidade do equipamento, os ganhos relacionados a modernização se convertem na significativa diminuição dos períodos e gastos com manutenção, dessa forma, levando a um eventual aumento da confiabilidade operacional do gerador quando comparado ao cenário anterior.

Portanto, através da revisão dos conceitos sobre gerador síncrono e seus principais componentes e diante do que foi apresentado no estudo de caso, foi possível determinar as melhorias alcançadas através da substituição e modernização dos principais componentes do gerador, abordando as principais vantagens do regulador de velocidade e de tensão e os testes necessários para a substituição dos mesmos, além do novo núcleo e enrolamento estatórico e a reisolação dos polos, contribuindo para um aumento na confiabilidade desses equipamentos, levando em consideração o histórico de falhas apresentado.

A decisão para o processo da modernização pode ser confirmada em avaliações dos indicadores de horas de indisponibilidade e falhas em equipamentos, obtidos a partir do levantamento dos dados operacionais, assim como o valor do megawatt interrompido devido ao tempo de indisponibilidade operacional, dessa forma validando a necessidade de implantação de tal processo.

Dessa forma, percebe-se que o processo de modernização de geradores hidrelétricos, deve ser trabalhado de forma prioritária, visto que o impacto que é gerado no momento de sua construção merece a compensação necessária através de uma melhor utilização dos recursos já existentes, através de melhorias e otimização da atuação do gerador.

Portanto, pode-se concluir que a modernização de geradores de usinas hidrelétricas auxilia no aumento da segurança e disponibilidade operacional e na elevação da confiabilidade dos sistemas e equipamentos já existentes, contribuindo para um melhor desempenho da unidade geradora e um aumento da eficiência energética do sistema.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (Agência Nacional de Águas). **Caderno de recursos hídricos**. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20Gera%C3%A7aoEnergia.pdf>>. Acesso em: Agosto de 2019.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: Agosto de 2019.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Capacidade de operação**. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: Agosto de 2019.

BORBA, Lucio Aparecido. **Estudo de harmônicos entre diferentes sistemas de excitação de máquinas síncronas**. 111p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

CCE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica). **Preços médios**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/precos_medios?_afLoop=17405694717829&_adf.ctrl-state=1763ou51hw_142#!%40%40%3F_afLoop%3D17405694717829%26_adf.ctrl-state%3D1763ou51hw_146>. Acesso em: Maio de 2020.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

COSTA, Antônio Simões. **Turbinas Hidráulicas e Conduitos Forçados**. Março, 2003.

ECO.A. **Envelhecimento das usinas hidrelétricas no Brasil reduz capacidade de produção de energia.** Disponível em: <<https://ecoa.org.br/envelhecimento-das-usinas-hidreletricas-no-brasil-reduz-capacidade-de-producao-de-energia>>. Acesso em: Outubro de 2019.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Fontes.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>>. Acesso em: Outubro de 2019.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Repotenciação e modernização de usinas hidrelétricas.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-432/EPE-DEE-088_2019_Repotencia%C3%A7%C3%A3o%20de%20Usinas%20Hidrel%C3%A9tricas.pdf>. Acesso em: Dezembro de 2019.

Fitzgerald, A. E.; Kingsley Júnior, Charles; Umans, Stephen D. **Máquinas elétricas: com introdução à eletrônica de potência.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

Gomes, Elisa de Podestá. **Potencial de repotenciação de usinas hidrelétricas no Brasil e sua viabilização.** 129p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, 2013.

Oliveira, Marcos André de. **Repotenciação de pequenas centrais hidrelétricas: avaliação técnica e econômica.** 195p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, 2012.

Pinto, Luciano Lopes. **Determinação de critérios indicativos para análise da viabilidade de serviços de modernização de grupos geradores de centrais hidrelétricas.** 154p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, 2009.

REIVAX S/A. **Manual de operação e manutenção,** 2016.

Reis, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica.** Manole, 2003.

Voith. Disponível em: <<http://www.voith.com/br/index.html>>. Acesso em: Novembro de 2019.

ANEXO A – Interface da tabela utilizada para o cálculo dos valores do megawatt interrompido

Ano	Mês	Horas Desligamento Programa	Horas Desligamento Forçado	Horas Desligadas devido Condições Externas	Horas em Reserva Disponível	Horas em Serviço	Horas do Período	Valor MW/min	Ano	Mês	Soma das horas indisponíveis			MW Interrompido	Valor em R\$ do MW interrompido mensal	Ano	Valor em R\$ do MW interrompido anual	Valor PLD	
											Horas	Minutos	Interrompido						
2000	1	0,00	0,00	0,00	0,00	744,00	744	0,73333	2000	1	0,00	0,00	0	R\$ 0,00	2010	R\$ 6.736.643,66	jan/00	12,91	
2000	2	3,05	0,00	0,00	109,25	559,70	672		2000	2	3,05	3,00	5,00	135,667	R\$ 1.874,91	2011	R\$ 566.079,58	fev/00	13,82
2000	3	0,00	0,55	0,00	2,55	740,90	744		2000	3	0,55	0,00	55,00	40,333	R\$ 1.098,68	2012	R\$ 7.259.883,14	mar/00	27,24
2000	4	17,83	0,00	0,00	0,00	702,37	720		2000	4	17,83	17,00	63,00	794,2	R\$ 17.051,47	2013	R\$ 5.182.910,59	abr/00	2147
2000	5	167	0,00	0,00	0,00	742,33	744		2000	5	1,67	1,00	67,00	93,133	R\$ 3.011,93	2014	R\$ 78.598.890,63	mai/00	32,34
2000	6	27,97	0,00	0,00	0,00	692,03	720		2000	6	27,97	27,00	97,00	1259,13	R\$ 85.243,33	2015	R\$ 2.263.771,99	jun/00	67,7
2000	7	0,00	0,00	0,00	0,00	744,00	744		2000	7	0,00	0,00	0	0	R\$ 0,00	2015	R\$ 5.383.810,07	jul/00	89,61
2000	8	16,17	0,30	0,00	0,82	726,72	744		2000	8	16,47	16,00	47,00	738,467	R\$ 86.149,52	2017	R\$ 7.958.928,76	ago/00	116,86
2000	9	720,00	0,00	0,00	0,00	0,00	720		2000	9	720,00	720,00	31680	R\$ 4.184.928,00	2018	R\$ 6.999.152,35	set/00	132,1	
2000	10	377,90	0,00	0,00	88,28	277,82	744		2000	10	377,90	377,00	90,00	1654	R\$ 2.294.588,12	total	R\$ 120.950.070,66	out/00	137,78
2000	11	0,90	0,72	0,00	142,62	575,77	720		2000	11	1,62	1,00	62,00	89,667	R\$ 10.438,97			nov/00	116,88
2000	12	16,90	0,05	0,33	54,00	673,72	744		2000	12	15,95	15,00	95,00	729,667	R\$ 52.258,73			dez/00	71,62
2011	1	0,00	0,00	0,00	0,00	744,00	744		2011	1	0,00	0,00	0	0	R\$ 0,00			jan/11	28,19
2011	2	29,63	0,00	0,00	0,00	642,37	672		2011	2	29,63	29,00	63,00	1322,2	R\$ 65.567,90			fev/11	49,99
2011	3	0,00	0,00	0,00	0,00	744,00	744		2011	3	0,00	0,00	0	0	R\$ 0,00			mar/11	23,41
2011	4	2,40	0,00	0,00	0,00	717,60	720		2011	4	2,40	2,00	40,00	117,333	R\$ 1.431,47			abr/11	12,2
2011	5	0,80	0,00	0,00	0,00	743,20	744		2011	5	0,80	0,00	80,00	58,667	R\$ 1.017,87			mai/11	17,35
2011	6	1,97	0,00	0,00	0,00	738,03	720		2011	6	1,97	1,00	97,00	115,133	R\$ 3.561,24			jun/11	31,8
2011	7	3,55	5,20	0,00	0,00	736,25	744		2011	7	8,75	8,00	75,00	407	R\$ 9.393,56			jul/11	23,08
2011	8	1,18	0,00	0,00	0,98	741,83	744		2011	8	1,18	1,00	18,00	57,2	R\$ 1.121,69			ago/11	19,61
2011	9	9,73	0,00	0,00	0,00	710,27	720		2011	9	9,73	9,00	73,00	449,533	R\$ 9.521,12			set/11	21,18
2011	10	0,00	0,00	0,00	5,97	738,03	744		2011	10	0,00	0,00	0	0	R\$ 0,00			out/11	37,14
2011	11	2,15	8,03	0,00	0,00	709,82	720		2011	11	10,18	10,00	18,00	453,2	R\$ 20.643,26			nov/11	45,55
2011	12	231,53	0,00	0,00	16,55	495,32	744		2011	12	231,53	231,00	53,00	10202,9	R\$ 453.721,48			dez/11	44,47