

# Alteração de projeto do circuito hidráulico do Servo Motor de uma Unidade Geradora de energia elétrica<sup>1</sup>

Gustavo Nicézio de Barros<sup>2</sup>, Daniel Fernando da Silva<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Artigo apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecânico, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, 2015.

<sup>2</sup>Aluno de Graduação, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, 2015. E-mail: [gnb@furnas.com.br](mailto:gnb@furnas.com.br)

<sup>3</sup>Orientador, Professor da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, 2015. E-mail: [daniel@gmail.com](mailto:daniel@gmail.com)

**Resumo:** Este trabalho apresenta alteração efetuada no circuito hidráulico de comando do regulador de velocidade da unidade geradora da usina Mascarenhas de Moraes, onde foram necessária substituição dos giclês de algumas válvulas deste circuito. Ressaltando que as outras unidades geradoras da mesma usina, com circuitos idênticos a esta não foi necessária esta alteração. Usualmente os equipamentos são projetados para funcionar corretamente em diversos tipos de ambientes, isto se dá porque há vários estudos antes da implantação dos mesmos nos locais de trabalho, mas apesar destas premissas ainda existem equipamentos que não têm o funcionamento esperado, em alguns locais que são instalados os mesmos precisam sofrer alterações nos seus projetos. Neste trabalho é mostrada a alteração do projeto de um sistema hidráulico de acionamento de servomotores de uma unidade geradora de energia elétrica, que precisou de algumas alterações e ajustes no circuito hidráulico do mesmo, devido às características dos diversos itens que podem influenciar no seu funcionamento, como exemplo as características das peças e componentes usados, o comprimento da tubulação (alterado), instalação de novas curvas na tubulação (não previstas), motores, bombas, válvulas e, por fim, mas não menos importante às condições do meio em geral, temperatura e umidade. Essa alteração foi estudada e analisada em conjunto com o pessoal de engenharia da fábrica, pois não se achava solução para a falha que estava ocorrendo no momento da entrada de uma das bombas quando entrava em serviço, pois havia um desarme, por sobrecoerente instantânea. Portanto foram verificados: o circuito elétrico, os componentes mecânicos e o circuito hidráulico e repassados os testes para o fabricante, pois o equipamento estava na garantia. Estes em conjunto com a equipe local de manutenção e através de dicas de cálculos efetuados naquele momento, através destes resultados, foram fazendo ajustes e substituindo algumas peças de componentes e através de tentativas e erros, chegou-se a um resultado esperado de funcionamento e as alterações e ajustes foram repassados para o fabricante, que irá fazer mais análises e cálculos, para melhor compreensão desta variação.

**Palavras-chave:** projeto, atuação, válvulas hidráulicas, Servo Motor, unidade geradora.

## Change design of the hydraulic circuit of the Servo Motor of a generating unit of electricity<sup>1</sup>

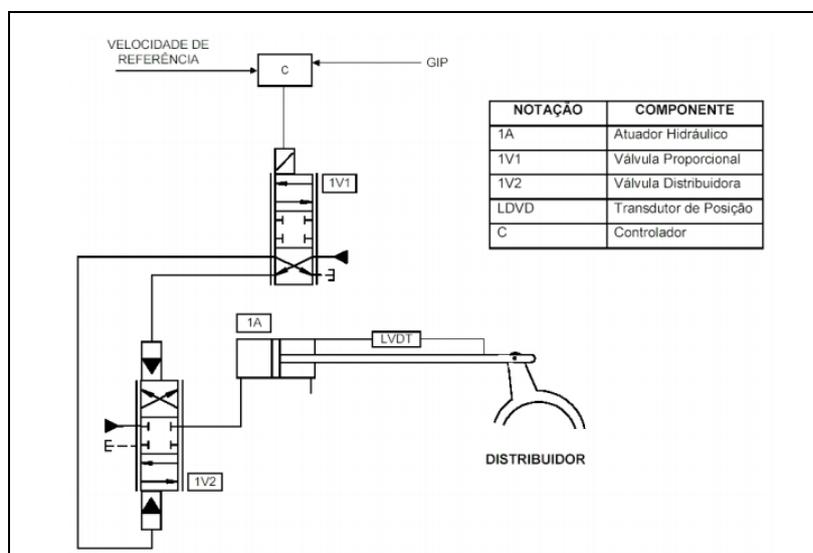
**Abstract:** This work shows changes made in the hydraulic circuit speed regulator command generating unit of Mascarenhas de Moraes plant where they were needed replacement of the orifices of some valves this circuit. Noting that other generating units of the same plant, with identical circuits this was not necessary this change. Usually the equipment is designed to work properly in various types of environments, this is because there are several studies prior to their deployment in the workplace, but despite these premises there are devices that do not have the expected operation, in places which are installed the same need to be changed in your projects. This work is shown changing the design of a hydraulic servo drive of a generating unit of electricity, which needed some changes and adjustments in the hydraulic circuit of the same due to the characteristics of the various items that can influence their functioning, as an example the characteristics of used parts and components, the length of pipe (changed), new curves installation in the pipeline (not provided), motors, pumps, valves and, last but not least to the conditions of the environment in general, temperature and humidity. This change was studied and

analyzed in conjunction with the plant engineering staff, because there was not found solution to the failure that was occurring at the time of entry of one of the bombs when he went into service because there was a trip by instantaneous overcurrent. So they were checked: the electrical circuit, the mechanical components and the hydraulic circuit and passed the tests for the manufacturer because the equipment was under warranty. These together with the local team of maintenance and through tips from calculations made at that time by these results, were making adjustments and replacing some component parts and through trial and error, we have come up with an expected result of operation and changes and adjustments have been passed on to the manufacturer, who will do further analysis and calculations to better understand this variation.

**Keywords:** project, acting, hydraulic valves, Servo Motor, generating unit.

## INTRODUÇÃO

Em uma unidade geradora á um circuito que controla a velocidade do mesma, fazendo com que a unidade, quando inserida no sistema aumente ou diminua a potência que a mesma fornece ao sistema elétrico e mantendo e também mantém a frequência estável em 60 Hz e quando desconectada do sistema elétrico atua diretamente na velocidade da unidade. Este circuito e composto por diversos componentes hidráulicos, elétricos e eletrônicos, que atuam em conjunto para o fim citado acima. Onde um sistema eletrônico faz a leitura do RPM da unidade e atua corrigindo a velocidade, pois se o sistema elétrico necessite de mais potência a tendência da unidade e perder velocidade e ganhar se o sistema tiver diminuindo a quantidade de carga (em Watt).



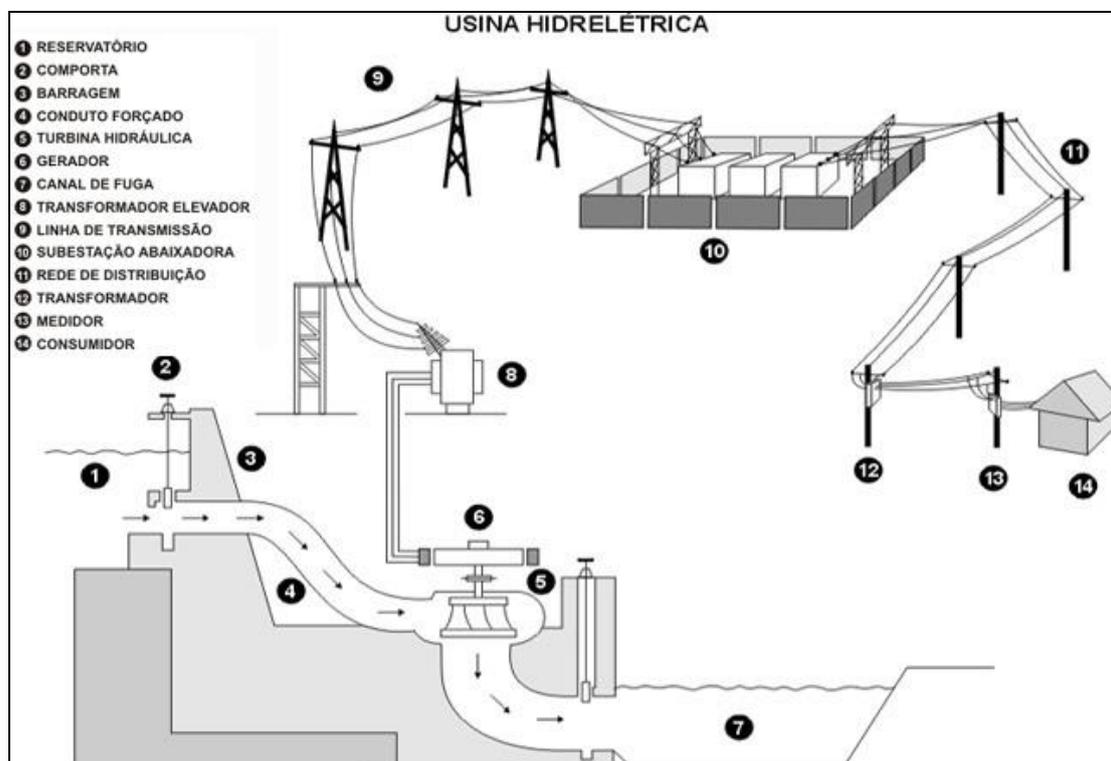
Fonte: Mazzorana (FURST, 2001)

Figura 2 – Circuito hidráulico simplificado

## APRESENTAÇÃO

A unidade geradora de energia elétrica de uma usina hidroelétrica tem como o principal objetivo a geração de energia elétrica, isto se dá através da rotação constante da unidade geradora, que por sua vez depende diretamente da água, acumulada no reservatório **1**, esta água passa pelo conduto forçado **4**, e com a diferença de nível existente entre os lados da montante **1** (Reservatório) e jusante **7** (Canal de Fuga),

ganha energia cinética, pela atuação da força da gravidade e largura do conduto forçado, está água rica em energia cinética incide nas palhetas da unidade geradora ou turbina **5**, fazendo como que está gire então está energia se transforma em energia mecânica, por sua vez, através do movimento giratório da máquina. Ligado na turbina há um eixo que na outra ponta tem um gerador de energia elétrica **6** (Bobinas de cobre, que na incidência de um campo elétrico externo), que transforma a energia mecânica em energia elétrica que segue através do transformador **8** (Figura 1).



Fonte: ELETROBRÀS FURNAS

Figura 1 – Esquemático de usina hidroelétrica.

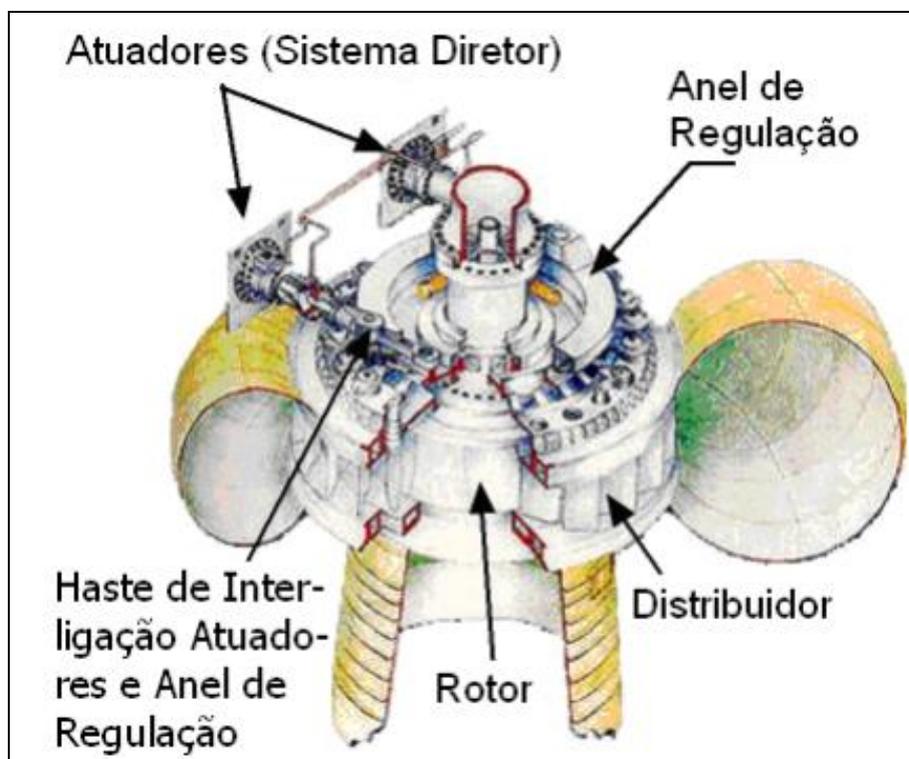
O sistema de regulação de velocidade de uma unidade geradora de energia tem como finalidade manter a mesma em uma velocidade constante, independente da carga solicitada pelo sistema elétrico. Vale a pena ressaltar que as unidades geradoras têm suas limitações, chegando-se ao ponto de máxima potência que a mesma pode gerar.

O sistema de regulação de velocidade funciona da seguinte forma: Ele atua nas palhetas móveis da turbina, controlando assim a vazão de água que incide na mesma, de acordo com a demanda do sistema elétrico (automático), podendo também fazer esta regulação elétrica/local. Assim, o operador da usina hidroelétrica informa ao software o quanto deseja que a unidade geradora forneça de carga para o sistema, dada em Watts.

Para Mazzorana (2008) o sistema de controle do distribuidor consiste em geral de vários equipamentos. Os principais componentes deste subsistema são os atuadores hidráulicos, a válvula direcional proporcional (às vezes em conjunto com uma válvula distribuidora), válvula de alívio, bomba, acumulador e filtros para controle da qualidade do óleo utilizado. Todos estes equipamentos estão

interligados através de uma tubulação rígida. Os cilindros e válvulas de controle do sistema.

Estas válvulas atuam diretamente no acumulador de óleo e ar, que tem uma pressão de operação de 64 bar, e este óleo sobre pressão, faz a atuação de dois servos motores, girando levemente o distribuidor, que é ligado às palhetas móveis, fazendo assim a regulagem da potência da unidade geradora (Figura 2).

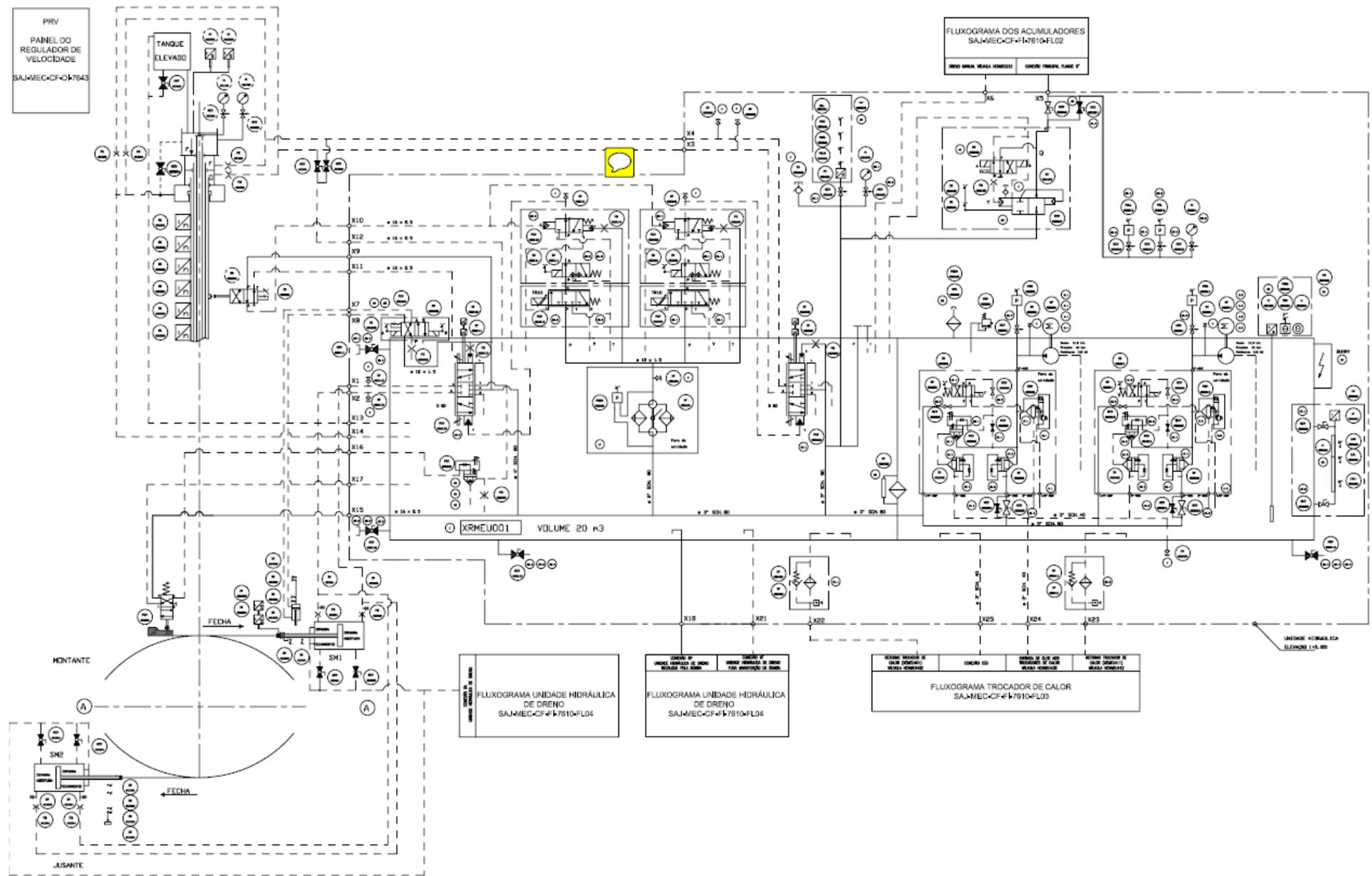


Fonte: Mazzorana (2008)

Figura 2 - Anel distribuidor, Palhetas móveis.

Durante todo o ocorrido a unidade geradora tinha que estar fornecendo energia elétrica para o sistema conforme contrato, podendo ocorrer possíveis multas contratuais e também pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico ONS.

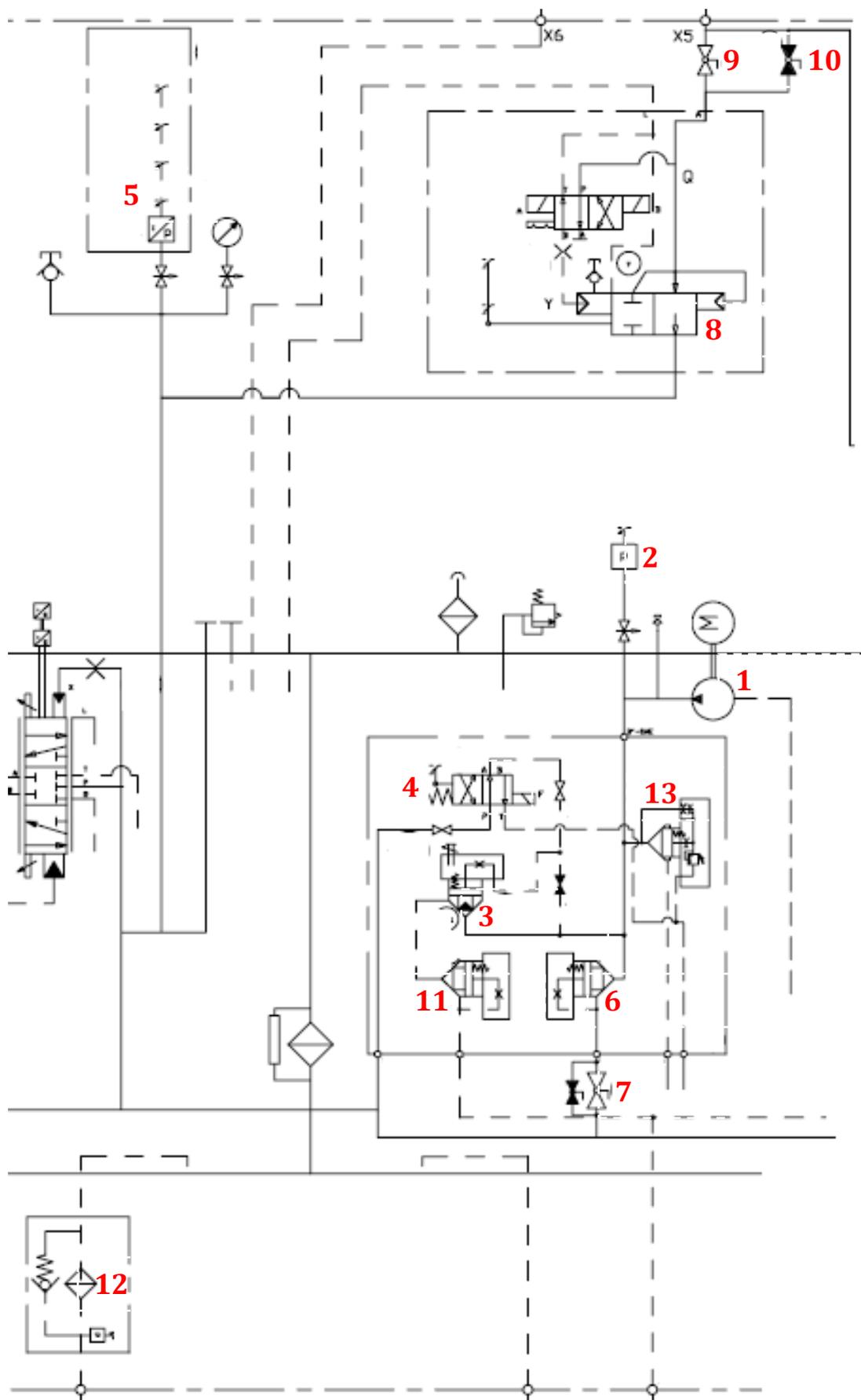
Estes acumuladores de óleo/ar tem capacidade de fazer quatro atuações de abertura e fechamento máximo na perda total das bombas. Existem duas bombas e dois circuitos de controle de pressão na perca de um o outro assume automaticamente sendo, bomba 1 alimentação AC e bomba 2 alimentação (Figura 3).



Fonte: Usina Mascarenhas de Moraes (2015)

Figura 3 - Regulador de velocidade

O funcionamento básico do circuito hidráulico, em algumas dessas válvulas abaixo que foram realizados as alterações e ajustes (Figura 4).



Fonte: Usina Mascarenhas de Moraes (2015)  
Figura 4 – Regulador de velocidade.

No diagrama acima apresenta o circuito referente a bomba 2 (que foi detectado a falha), o circuito 1 que é uma redundância para maior confiabilidade do sistema é idêntico.

Esta unidade possui uma bomba de fuso **1**. Com a máquina em operação, uma das bombas, acionada pelo seu motor elétrico, funciona continuamente e a outra fica em espera, ora em modo de circulação, ora em modo de reposição do acumulador ar-óleo.

Os Pressostatos **2** monitora a pressão mínima das saídas da moto bomba **1** respectivamente, indicando a operação normal da bomba.

Com o tanque de pressão com pressão normal (64 bar), o óleo fornecido por esta bomba retorna ao reservatório pela válvula de descarga correspondente **3**. A válvula de descarga é comandada pela válvula piloto **4**, em função da pressão nos tanques de pressão ar-óleo.

Quando a pressão nos tanques cair a 62bar, o solenóide da válvula de intermitência **4** é energizado por meio do pressostato **5**, de forma que o óleo proveniente do circuito pressurizado pilote a válvula de descarga, fechando-a. Desta forma o óleo da bomba principal segue para os tanques ar-óleo através da válvula de retenção **6**, válvula de isolamento **7** e válvulas de isolamento dos tanques de pressão **8** (automática) e **9** (manual) com "by-pass" **10**.

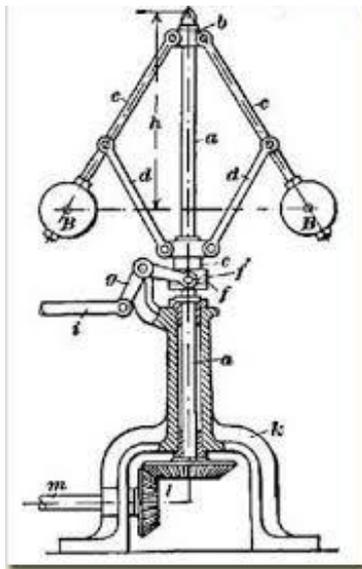
Quando a pressão chegar a 64bar, o solenóide da válvula de intermitência **4** é desenergizado por meio do pressostato **5**. Desta forma o óleo de pilotagem da válvula de descarga é drenado e esta abre liberando o óleo proveniente da bomba principal de volta para o reservatório de óleo passando pela válvula de retenção **11**, trocador de calor e filtro de retorno **12**.

Nas tubulações entre as bombas de óleo e as válvulas de descarga, estão instaladas as válvulas de alívio **13**, que abrem totalmente com uma pressão ajustada em 67 bar. Deste modo as bombas ficam protegidas contra uma eventual sobre pressão.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi feito na Usina Mascarenhas de Moraes situada no rio grande divisa de Minas gerais com São Paulo no Município de IBIRACI-MG, e que através da coleta de dados das alterações efetuadas no projeto do sistema hidráulico, que teoricamente era para estar em perfeitas condições de funcionamento, já que o ocorrido foi em uma das unidades geradoras, e a usina já contava com duas outras unidades geradoras de energia elétrica que estava em perfeito funcionamento, e os projetos da parte de regulação de velocidade são idênticos.

A usina já encontra em funcionamento desde 1945, mas as unidades geradoras passaram por uma modernização já que seus equipamentos estavam já bem ultrapassados, (porem o seu funcionamento era perfeito). Por curiosidade científica o regulador de velocidade antigo funcionava através de um pêndulo de watt (Figura 5).



Fonte: Site Ricardo Ribeiro.  
Figura 5 - Regulador de velocidade.

Durante os testes de comissionamento do equipamento que foram substituídos, no caso o regulador de velocidade da UG (Unidade Geradora), foi constatado que uma das bombas estava desarmando por sobre corrente instantânea (Figura 6).



Fonte: Usina Mascarenhas de Moraes (2015).  
Figura 6 - Motor nº2 desarmando por sobre corrente instantânea.

Inicialmente checou - se o circuito elétrico, isolamento do motor através de megômetro e teste nos cabos do circuito de alimentação e comando da bomba, reaperto das conexões em geral.

Partiu se então para o teste no circuito hidráulico, foram substituídas válvulas que havia de reserva e não surgiu efeito. A partir deste momento houve o acompanhamento por um técnico da fábrica,

pois o equipamento não estava entregue para operação e qualquer alteração acarretaria perda de garantia.

Após análise no circuito hidráulico verificou se um barulho diferente no acionamento de uma das válvulas, como se a mesma estivesse sendo acionada incorretamente, alta velocidade. Então passou a fazer testes no circuito hidráulico, durante vários dias, estudos e substituições de válvulas, foram trocando os giclês de algumas desta, a pedido do departamento de engenharia de fábrica, as substituições foram realizadas e continuava o defeito, porem mudava o tempo em que a bomba estava desarmando, portanto seguiu esta linha de raciocínio e, pois não tinha a solução mais era o caminho mais óbvio, foram feitas diversas tentativas até que se chegou a uma conclusão citada em RESUSLTADOS E DISCUSSÕES . Foram substituídos alguns giclês (Figura 7).



Fonte: Usina Mascarenhas de Moraes (2015).

Figura 7 - Válvula ZVMEU403 com bujão fechado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

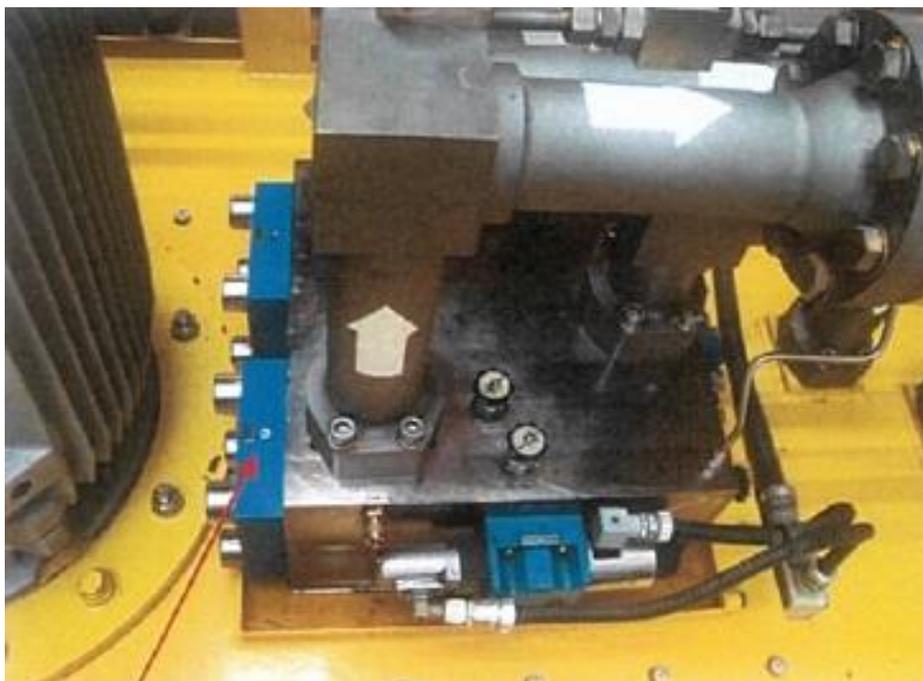
Depois de muitas análises e tentativas de solução da falha na parte elétrica e hidráulica e para obter um resultado melhor, foi feita a retirada a bomba para o teste da mesma, e a mesma estava em perfeitas condições de funcionamento.

Verificou se a isolação da mesma, atrás do Meghômetro, sendo que não deu falha para terra e nem por fases.

Verificou - se todo circuito elétrico em busca de algum mau contato ou algo parecido que podia ser a causa do defeito, não foi encontrado.

Verificou se o cartucho ZVM403 se estava correto, válvula posição ZVMEU312 estava em sua tampa um gicleur de 1,4 mm causando um fechamento muito brusco ao ponto de escutar o cartucho

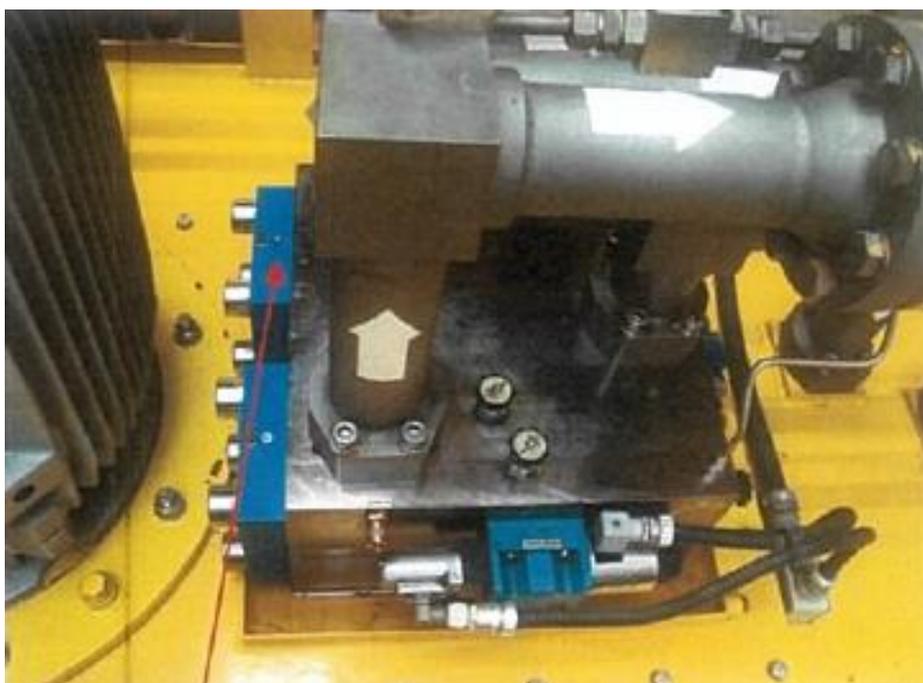
fechando, substituído por um gicleur de 1,2 mm, o fechamento do cartucho ficou suave, mas o desligamento por pico de corrente do motor elétrico da bomba dois continuou (Figura 8).



Fonte: Usina Mascarenhas de Moraes (2015)

Figura 8: Válvula ZVMEU312 com gicleur de 1,4 mm para 1,2 mm

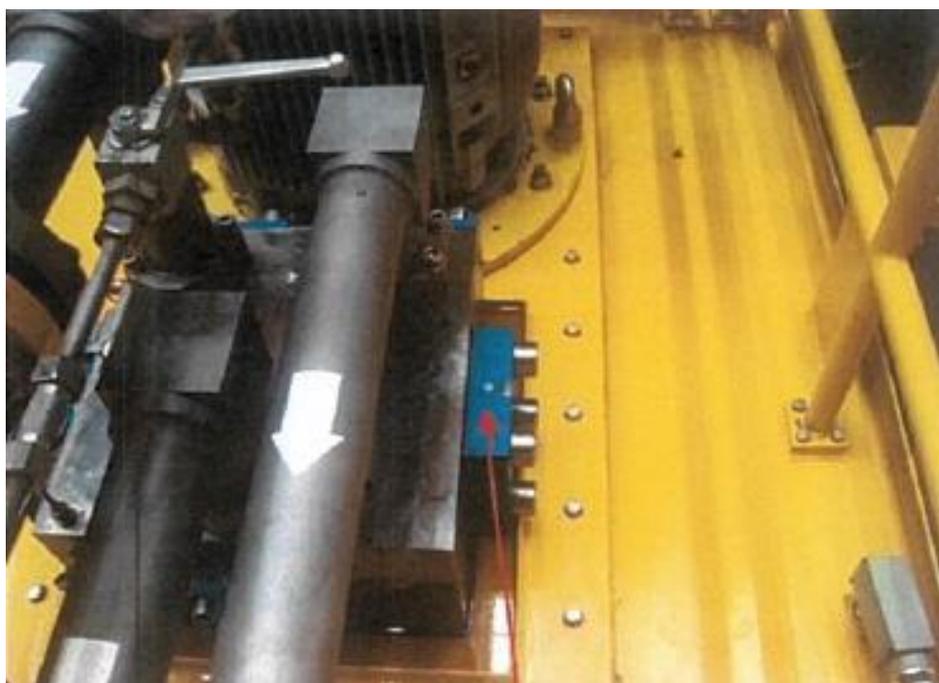
Depois verificou-se o gicleur da tampa da válvula posição ZMEU403, viu se que o gicleur que estava no mesmo era de 2 mm, ao trocar o gicleur do cartucho, por várias medidas, sem sucesso foi colocado um bujão cego, também foi feito isso mas não se obteve sucesso (Figura 9).



Fonte: Usina Mascarenhas de Moraes (2015)

Figura 9 - Válvula ZVMEU403 com bujão fechado

No último cartucho, da válvula de intermitência posição PCVMEU311, foi constatado que o gicleur estava com montado era de 2 mm, foi colocado um de 1,6 mm, e constatado que o desarme demorou mais para ocorrer, colocou se então um de 1,2 mm, a mesma demorou para desarmar, mais depois de algum tempo de funcionamento, houve o desarme da mesma, foi trocado por um de 1 mm, ligado o sistema a bomba partiu normalmente e a pressão chegou a 64 bar, depois desligou normalmente e a pressão começou a cair quando chegou a 62 bar, iniciou outro ciclo de para reposição da pressão 64 bar, novamente o motor não desarmou, repetimos o teste por várias vezes para certificar se que as mudanças surtiram efeito (Figura 10).



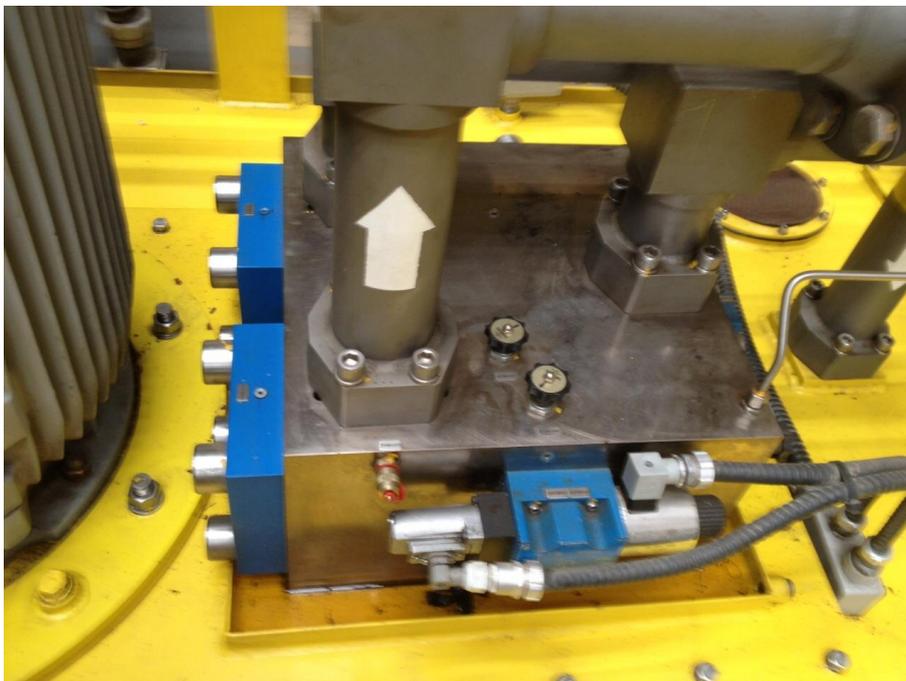
Fonte: Usina Mascarenhas de Moraes (2015)

Figura 10 - Válvula ZVMEU311 de giclê 2 mm para 1,0 mm

Também foram sendo substituídos os gicleur que haviam sido alterados, verificando que as substituições estavam certas, que deveriam ficar como estava, após a troca.

O cartucho da intermitência também estava com fechamento muito rápido, mesmo com o gicleur menor, mais sem causar desarme da bomba por corrente, foram feitos alguns ajustes na válvula e desacelerou- se o fechamento através de outros ajustes, através dos parafusos de que restringe a passagem de óleo.

Já haviam sido trocados os cartuchos anteriormente precisavam substituir os gicleur das outras reservas, pois o problema não havia sido sanado (Figura 11).



Fonte: Usina Mascarenhas de Moraes (2015)

Figura 11 - Válvulas do circuito

## CONCLUSÕES

Apesar de todos os equipamentos a serem implantados em seus locais de trabalho serem projetados e calculados na fábrica, existem equipamentos que podem trabalhar nas mesmas condições de outros, mais estes necessitam de alguns ajustes e alterações para o correto funcionamento. Foi constatado neste projeto que, devido a algumas variáveis, o projeto teve que ser alterado, pois a o motor da bomba de óleo estava com falha de sobrecorrente, devido a ajustes e peças do circuito hidráulico, e o mesmo circuito foi instalado nas outras máquinas desta mesma usina e não precisou ser alterado.

Antes das alterações foram feitas várias análises de circuito elétrico, mecânica e depois sim passou - se para o hidráulico, com os diagnósticos coletados, juntamente com o pessoal da engenharia da fábrica, foram feitas alterações no projeto original e finalmente, o circuito e o servo motor da unidade geradora de energia elétrica, teve um funcionamento perfeito, atendendo todos os testes de abertura e fechamento, tempo de resposta de comando etc.

Apesar dos novos cálculos, os testes reais foram fundamentais para o funcionamento do circuito, com o resultado desta alteração foram passados para os engenheiros da fábrica que irão estudar este caso, com mais detalhes e iram considerar, algumas variáveis a mais para novas instalações do equipamento em outras usinas.

Com tudo chegou - se ao resultado que todos os cálculos e projetos podem sofrer algumas alterações devido às características do lugar de instalação, temperatura, umidade, pressão e etc.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Catálogo EATON, Slip-in Cartridge Valves to ISO 7368 (DIN 24342).

MAZZORANA, Rafael Hilário Fonseca. **Modelagem Dinâmica Via Fluxo de Potência de Reguladores de Velocidade em Usinas Hidrelétricas**. Disponível em:  
[http://laship.ufsc.br/site/wp-content/uploads/2008/10/Dissertação\\_Mazzorana\\_2008.pdf](http://laship.ufsc.br/site/wp-content/uploads/2008/10/Dissertação_Mazzorana_2008.pdf)

P.R.; SOBRAL, M.D.C. **Metalografia qualitativa e quantitativa de grãos de austenita prévia de aço de alta resistência e baixa liga**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 5, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: CONEM, 2008, p.10.

REXROTH. **Treinamento hidráulico MHR: curso básico de óleo-hidráulica industrial para mecânicos de manutenção**. 3. Revisão. São Paulo, 1987. 182 p.

RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO, Usina Mascarenhas de Moraes, RD452-2013

SENAI. SP. **Comandos hidráulicos: informações tecnológicas**. São Paulo, 1987. 452 p.

ELETROBRÁS FURNAS SITE, **Funcionamento de uma usina hidroelétrica**. Parque Gerador/Usina Hidrelétrica. [http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemapurnas/magnify.asp?p=imagens/usina\\_hidro.jpg&](http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemapurnas/magnify.asp?p=imagens/usina_hidro.jpg&)

RIBEIRO RICARDO, engenheiro elétrico. Engenharia e Controle.  
<http://ricardoribeiro.eng.br/engenharia.htm>