

FÁBIO ANTUNES BRIZOTTI

UMA ANÁLISE CRÍTICA DO SISTEMA ELÉTRICO DO ARSENAL DE
MARINHA DO RIO DE JANEIRO

São Paulo
2011



FÁBIO ANTUNES BRIZOTTI

**UMA ANÁLISE CRÍTICA DO SISTEMA ELÉTRICO DO ARSENAL DE
MARINHA DO RIO DE JANEIRO**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Engenharia.

São Paulo
2011

FÁBIO ANTUNES BRIZOTTI

UMA ANÁLISE CRÍTICA DO SISTEMA ELÉTRICO DO ARSENAL DE
MARINHA DO RIO DE JANEIRO

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Naval.

Orientador: Prof. Doutor
Geraldo Francisco Burani.

São Paulo
2011

AGRADECIMENTOS

Ao professor Geraldo Burani, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante todo o trabalho.

À Marinha do Brasil, através da Diretoria de Ensino da Marinha e do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, que me proporcionaram a oportunidade de participar deste curso.

Aos amigos do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, pelo aprendizado, bem como pela convivência no dia a dia, durante o período em que ali servi.

À minha esposa Carla, pela compreensão, carinho e apoio prestados ao longo do curso.

E em especial ao Capitão de Mar e Guerra Pierre Matias e ao Engenheiro de Tecnologia Militar Mário Luiz Castro Rodrigues, dois grandes incentivadores de minha carreira dentro da Marinha do Brasil.

RESUMO

A natureza da atividade de um estaleiro faz com que sejam necessárias instalações flexíveis, que permitam construir ou reparar diferentes tipos de navios e embarcações visando ampliar seu leque de atuação.

Num estaleiro militar esta situação é ainda mais interessante, já que à flexibilidade devem ser acrescentadas a versatilidade, a praticidade e a robustez, dada sua possível atuação num cenário de combate.

Neste contexto insere-se o Sistema Elétrico do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, que além de habitualmente fornecer energia elétrica para equipamentos especiais e sensíveis, dado o caráter bélico dos navios que ali atracam, ainda precisa contar com características que permitam sua operação num ambiente de conflito.

O trabalho apresenta o Sistema Elétrico a partir de uma análise do projeto, considerando as possíveis configurações que este robusto sistema pode assumir no caso de uma falha mais severa, independentemente da causa raiz ser um ataque inimigo ou o próprio desgaste da instalação.

Durante o desenvolvimento do trabalho, é apresentada a situação atual de conservação e funcionalidade dos equipamentos, que continuam a operar, apesar do longo tempo de vida e das condições ambientais desfavoráveis, como, por exemplo, a salinidade marítima.

Por fim, o trabalho evidencia a admirável capacidade intelectual do projetista, cuja concepção permitiu ao Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro permanecer cumprindo seu papel estratégico de apoiador logístico da Esquadra Brasileira, ainda que, atualmente, não ofereça mais a possibilidade de tentativas mais ousadas de operação e manutenção do sistema elétrico, haja vista a necessidade iminente de investimentos em modernizações das instalações elétricas que permitiriam, por exemplo, a operação remota das principais subestações ou ainda, a implantação de um Sistema de Manutenção Centrada na Confiabilidade.

Palavras Chave: Sistema Elétrico. Estaleiro. Arsenal de Marinha.

ABSTRACT

The nature of the activity of a shipyard makes necessary facilities are flexible, allowing to build or repair various types of ships and boats in order to expand its range of operation.

In a military shipyard this situation is even more interesting, since the flexibility should be added versatility, practicality and robustness, given its possible role in a combat scenario.

In this context is the *Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro's* Electric System, which also usually provide power for special and sensitive equipments, given the character of military ships docked there also needs to have features that allow its operation in conflict environment.

The paper presents the electrical system from an analysis of the project, considering possible configurations that this robust system can assume in case of more severe failure, regardless of root cause is an enemy attack or the proper wear of the installation.

During the development work, we present the current state of maintenance and operation of the equipment, which continue to operate despite the long lifetime and adverse environmental conditions such as, for example, salinity sea. Finally, the work shows the amazing intellectual ability of the designer, whose design allowed the *Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro* fulfilling its strategic role of logistics Brazilian Fleet supporter, even today, without the possibility of trying more daring operation and maintenance of the electrical system, given the imminent need for investments in modernization of electrical installations that would, for example, remote operation of the main substations or even the deployment of a System Reliability Centered Maintenance

Keywords: Electrical System. Shipyard.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Diagrama Unifilar simplificado do AMRJ	12
Figura 02 – Arranjo Geral da subestação principal.....	14
Figura 03 – Estado ideal de operação dos equipamentos da SE Principal	15
Figura 04 – Falha no fornecimento da Linha 01	16
Figura 05 – Falha no Banco de Transformadores 01	18
Figura 06 – Paralelismo dos Bancos de Transformadores	20
Figura 07 – Transformador na configuração Delta-Delta	21
Figura 08 – Transformador na configuração Delta aberto	22
Figura 09 – Simulação de colapso da Subestação 03	24
Figura 10 – Relé Direcional e Relé Sobrecorrente atuados simultaneamente	27
Figura 11 – Combinação de Relés NÃO atuados	28
Figura 12 – Coordenação de um sistema em Anel	30
Figura 13 – Diagrama Unifilar do sistema de conversão 60-50 Hz	34

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	08
2 – DESENVOLVIMENTO	11
2.1 - O Sistema Elétrico do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro	12
2.2 - A Subestação Principal	13
2.3 – As Subestações interligadas em Anel	23
2.4 – A Subestação 01	31
2.5 – A Usina Diesel	36
2.6 – O software de gerenciamento da energia elétrica	37
2.7 – A Manutenção Centrada na Confiabilidade	39
2.8 – O tempo de utilização do Sistema Elétrico do AMRJ	41
3 – CONCLUSÃO	43
4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

INTRODUÇÃO

Ao avaliar o papel do estaleiro dentro de uma frota marítima qualquer, descobre-se a importância estratégica que ele representa, já que devido às condições severas de funcionamento, a que todos os conjuntos de equipamentos dos navios são expostos, a manutenção e reparação nem sempre podem ser feitas a bordo, sendo que invariavelmente, haverá a necessidade de docagem para períodos de manutenções mais complexas.

Em um ambiente militar, o estaleiro tem sua importância potencializada, já que, além da capacidade de reparar equipamentos naturalmente desgastados, existe ainda a necessidade de recuperar navios que tenham sofrido agressões em combate, sendo que tais reparos devem ser feitos num período de tempo reduzido, a fim de garantir uma vantagem logística durante um período de guerra.

Sendo então uma instalação altamente estratégica, os estaleiros militares podem ser alvos de ataques no desenrolar de um conflito, o que pode comprometer a capacidade logística da esquadra e eventualmente determinar a derrota numa guerra.

Face ao exposto, o estaleiro militar deve ter algumas características peculiares que o diferenciam de um estaleiro “mercante”:

- 1 – Deve ter recursos que garantam a reparação dos complexos sistemas dos navios militares;
- 2 – Deve ter meios que permitam fazer tais reparos em tempo reduzido e;
- 3 – Deve ter instalações robustas e flexíveis a ponto de permanecer cumprindo seu papel estratégico ainda que sob ataque, ou que parcialmente destruído.

No caso da Marinha do Brasil, as três características acima são encontradas em seu principal estaleiro: o Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), onde são feitos desde reparos em Navios Aeródromos, até a construção de Submarinos, passando pela modernização de Fragatas, a construção de Corvetas e outros navios de superfície.

Trata-se de um estaleiro cuja origem remonta aos tempos do Brasil Imperial, tendo passado por diversas reformas, modernizações e ampliações antes de se apresentar

na forma como é visto hoje, ocupando seu espaço nas águas da baía de Guanabara, no centro da cidade do Rio de Janeiro. Possui diversos recursos que o credenciam como um grande estaleiro: três diques secos e um dique flutuante, duas carreiras, grande comprimento de cais, serviços de guindastes, oficinas de manutenção de diversas áreas, redes de gases industriais além da rede que carrega o principal insumo deste estaleiro: o sistema elétrico, compreendido desde o ponto de entrega pela concessionária de energia até os pontos de tomada de alimentação dos navios, passando por subestações e cabos localizados em galerias subterrâneas distribuídas ao longo de toda a área do estaleiro.

Eis aqui o objeto de estudo deste trabalho: fazer uma análise crítica do sistema elétrico do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, avaliando suas principais características, como os pontos de maior destaque, bem como aqueles que podem ser alvo de melhorias.

Para isso, serão utilizados esquemas elétricos e diagramas unifilares das instalações além da experiência do autor, acumulada ao longo dos anos de 2009 e 2010, tempo que este esteve a frente da Divisão responsável pela operação e manutenção do sistema elétrico deste estaleiro.

O estudo se limitará à análise do sistema elétrico referente às fases de geração, transmissão e distribuição, não se mencionando a fase de consumo, aqui entendida como aquela que envolve as instalações existentes dentro dos edifícios e que servem, basicamente, à iluminação e força para os escritórios. O estudo se deterá à análise do sistema elétrico responsável pelo fornecimento de energia para o Complexo Naval bem como aos Navios atracados, além de equipamentos específicos utilizados em algumas situações peculiares que serão comentadas oportunamente durante o desenvolvimento do trabalho.

O trabalho poderia ficar ainda mais completo com a análise estatística dos índices de falha dos equipamentos. Números que pudessem comprovar, ou contestar, o resultado da análise crítica das instalações elétricas. Mostrando, por exemplo, a quantidade de falhas por equipamento, ou ainda o tempo necessário para reparo destes equipamentos e desta forma, determinando os índices de indisponibilidade do sistema. No entanto, a maior parte dos dados não foi encontrada, já que não existe um procedimento que registre estes eventos de forma sistemática, apenas havendo anotações manuscritas sobre alguns detalhes de defeitos mais severos ocorridos ao longo dos últimos anos. Desta forma, o trabalho se limitará à análise crítica

conceitual do sistema elétrico com as percepções que o autor teve durante a execução deste estudo, devido à falta de informações disponíveis referentes aos índices de falhas dos equipamentos.

DESENVOLVIMENTO

O trabalho será desenvolvido da seguinte forma:

- Apresentação do sistema elétrico de maneira geral para mostrar a capacidade e o arranjo físico da instalação;
- Análise das vantagens e desvantagens;
- Análise crítica e apresentação de possíveis melhorias para o sistema elétrico do AMRJ.

O Sistema Elétrico do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro

Pode-se dizer que o sistema elétrico do AMRJ assemelha-se ao de uma pequena cidade, haja vista a dimensão física e o número de edifícios distribuídos ao redor da Ilha das Cobras, local onde o AMRJ funciona, além da grande capacidade instalada, devido ao caráter industrial das instalações.

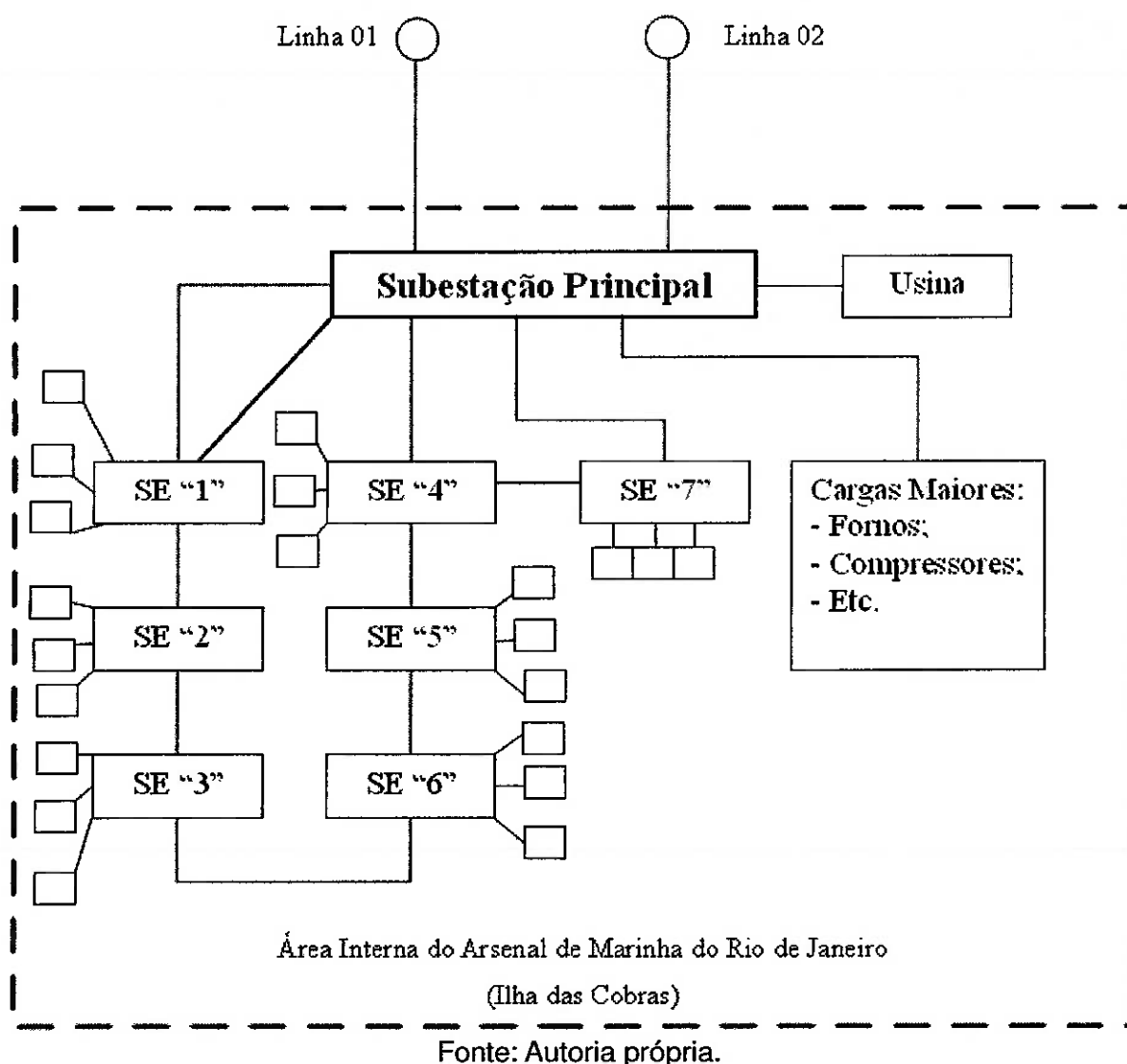


Figura 01 – Diagrama unifilar simplificado do AMRJ

Conforme mostrado na figura 01, o AMRJ é suprido pela concessionária de energia

elétrica por duas linhas de alimentação. A partir da subestação principal, a energia é distribuída aos consumidores através de um circuito ligado em “anel”, o que será melhor explanado adiante. Também existe uma usina geradora instalada no AMRJ com a finalidade de manter o fornecimento de energia elétrica independentemente do fornecimento pela concessionária. Além disso, a subestação (SE) “1” tem uma dupla alimentação em função da existência de alguns equipamentos específicos, que serão explanados adiante.

Toda energia elétrica é recebida em uma subestação, aqui denominada de subestação principal que reduz a tensão e distribui para trinta subestações menores, localizadas mais próximas dos consumidores, onde a tensão é reduzida para 220 ou 440 V, conforme a necessidade de cada carga.

Inicialmente, será analisada a subestação principal.

A Subestação Principal

A subestação principal foi construída na década de 1950, durante um período de modernização das instalações do AMRJ. Ela é quem recebe a alimentação da concessionária de energia elétrica, através de dois circuitos independentes, na tensão de 25 kV, que é recebida no barramento, sendo um cabo alimentador instalado de cada lado do barramento, havendo chaves e disjuntores na alimentação dos transformadores e mais chaves e disjuntores de interligação dos lados 1 e 2 do barramento. À jusante das seccionadoras de alimentação encontram-se ainda os disjuntores de proteção além de equipamentos de medição e proteção (TP's e TC's), conectados no barramento de 25 kV.

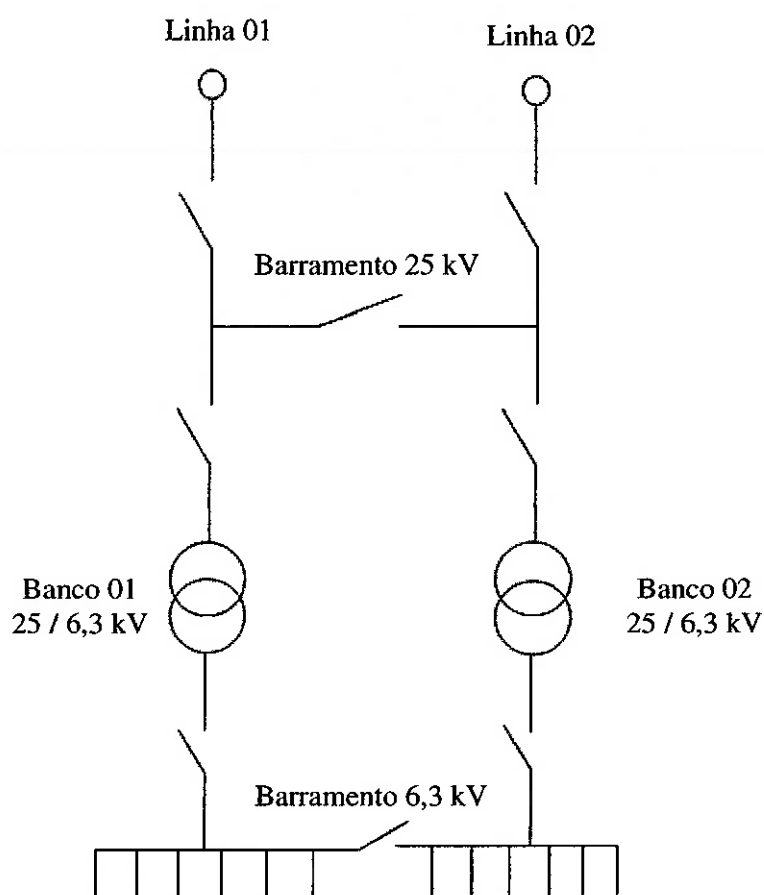
Em cada lado do barramento estão instalados bancos de transformadores de 10.500 kVA, formados por três transformadores monofásicos, cada um com 3.500 kVA de potência, ligados na configuração Delta/Delta.

No lado jusante dos bancos de transformadores 1 e 2 estão os respectivos barramentos secundários, na tensão de 6,3 kV, protegidos e chaveados por disjuntores de alimentação do tipo extraíveis, mais um disjuntor utilizado para interligação dos lados 1 e 2 do barramento secundário.

A este barramento estão conectados os disjuntores de alimentação dos circuitos

elétricos para todas as partes da Ilha das Cobras, além dos transformadores de serviço auxiliar, que fazem a alimentação dos equipamentos de comando e iluminação da subestação.

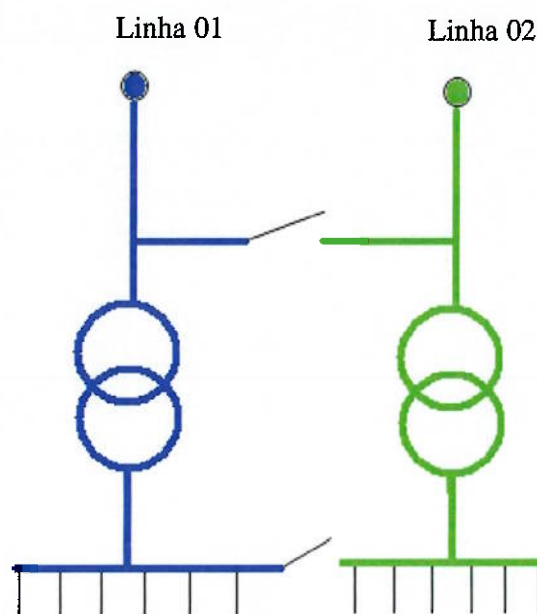
A Figura 02 apresenta o arranjo geral da subestação principal de maneira sucinta, apenas para efeito de visualização da disposição dos equipamentos.



Fonte: Autoria própria.

Figura 02: Arranjo geral da subestação principal

No estado de operação normal, com todos os equipamentos disponíveis para operar, cada cabo alimentador da concessionária alimenta uma parcela das cargas da Ilha das Cobras, sendo que não existe interligação entre elas, conforme a figura 03.



Fonte: Autoria própria.

Figura 03: Estado ideal de operação dos equipamentos da subestação principal

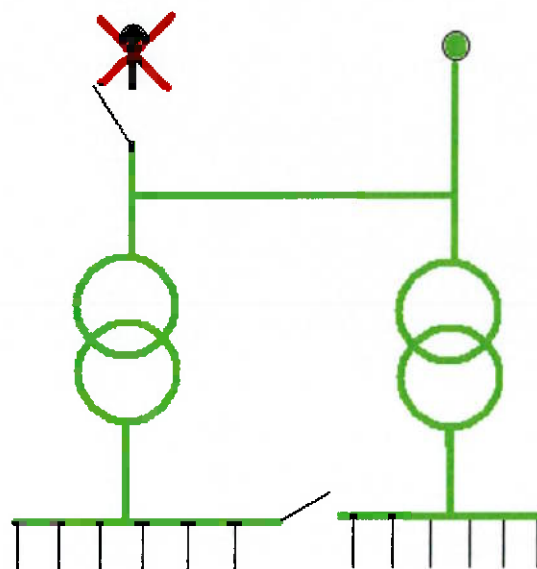
Este arranjo é o mais interessante sob o ponto de vista operacional, já que as cargas ficam divididas entre os dois circuitos, fazendo com que os equipamentos envolvidos no circuito (transformadores, disjuntores, etc) operem abaixo de sua capacidade nominal, prolongando assim a vida útil do sistema.

No entanto, o arranjo dos equipamentos permite algumas manobras que podem viabilizar a alimentação principal do sistema elétrico, mesmo no caso de uma falha em um dos equipamentos.

Neste trabalho, deve-se entender que o equipamento com falha está totalmente inoperante, não existindo a situação de falha intermediária ou falha parcial que apenas limite a capacidade operativa do equipamento. Tal interpretação visa facilitar a análise de condição operativa do sistema no caso de falha de apenas um componente.

A primeira falha a ser analisada será a falha em um dos cabos alimentadores, provenientes da concessionária de energia elétrica. Supondo que por um motivo qualquer, o cabo deixe de fornecer a alimentação no respectivo lado do barramento de 25 kV, é possível restabelecer o fornecimento de energia elétrica do Complexo Naval de maneira relativamente simples, transferindo a alimentação do respectivo

banco de transformadores para o lado da barra que permaneceu alimentado, conforme apresentado na figura 04.



Fonte: Autoria própria.

Figura 04: Falha no fornecimento da linha 01

Conforme apresentado na figura 04, no caso de falha em uma das linhas de alimentação, a linha que tiver permanecido “viva” é capaz de assumir a alimentação de todo o Complexo apenas com o chaveamento da interligação do barramento e a abertura da chave de alimentação da linha 01, a fim de evitar o retorno para a linha 01 e a consequente atuação dos dispositivos de proteção.

Esta manobra pode ser feita de maneira simples, restabelecendo rapidamente o fornecimento de energia elétrica do Complexo, enquanto se providencia o reparo do cabo alimentador que estiver falhando.

Embora na figura 04 a alimentação que tenha apresentado a falha tenha sido a linha 01, uma manobra similar é possível no caso de falha na linha 02, utilizando o mesmo raciocínio para o restabelecimento do fornecimento de energia elétrica.

Apesar de aparentemente ser uma solução simples, alguns detalhes devem ser avaliados antes da execução da manobra de restabelecimento. Como o AMRJ é suprido por duas linhas diferentes, sendo ambas de 25 kV, podem haver pequenas diferenças no nível de tensão entre as duas linhas. Esta diferença é corrigida através da alteração dos TAP's dos transformadores, fazendo com que o lado secundário

dos transformadores apresente valores de tensão mais aproximados entre si, minimizando problemas relacionados a aplicação de sobretensão no circuito secundário. Desta forma, quando da execução desta sequência de manobras, é necessário avaliar o valor da tensão apresentada no secundário do transformador recém alimentado, já que este pode apresentar uma sobretensão, que, no caso de não ser corrigida, pode vir a danificar equipamentos que a este circuito estejam conectados.

Outra observação importante refere-se a potência disponibilizada pelas linhas de alimentação. Este caso apresentou a sequência de manobra possível, apenas de maneira conceitual. É importante avaliar se o cabo de alimentação suporta esta manobra, verificando se a carga a ser acrescentada através da manobra não fará com que a capacidade do cabo seja superada, podendo provocar a atuação dos dispositivos de proteção, ou ainda uma situação menos desejável, o colapso da linha 02.

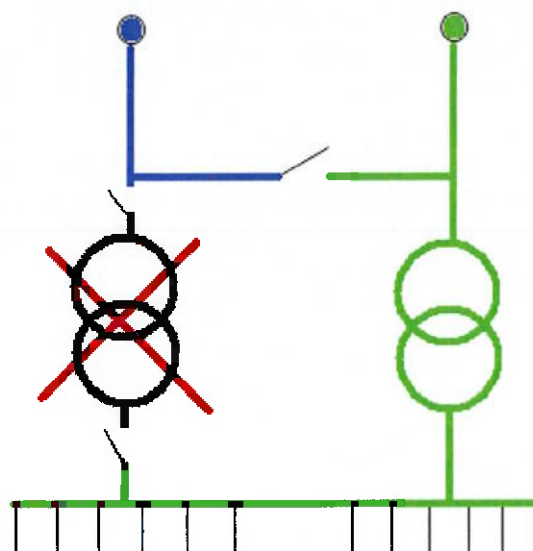
No caso do AMRJ, estas situações não oferecem riscos. Os níveis de tensão das duas linhas são bastante próximos, de forma que a diferença apresentada no secundário dos bancos de transformadores não é significativa e não representa risco aos equipamentos. No caso da capacidade de fornecimento da linha, o operador da subestação deve estar atento à carga que será acrescentada à linha, já que em alguns períodos do ano, existem algumas horas do dia em que a demanda de energia elétrica apresenta valores mais altos, levemente maiores que a capacidade nominal da linha. Apenas nestes casos extremos, quando a demanda total supera a capacidade nominal de uma linha, o operador desalimenta algumas cargas, privilegiando aquelas cargas consideradas prioritárias e mantendo a demanda dentro dos valores permitidos pelo cabo da linha alimentadora.

Outro equipamento de suma importância na subestação principal e que merece avaliação mais detalhada é o banco de transformadores de 25 kV.

Conectado ao barramento de 25 kV, ele é o responsável pelo rebaixamento do nível de tensão para 6,3 kV, que posteriormente é distribuído para as subestações internas do AMRJ.

Como existem dois bancos de transformadores, que alimentam partes diferentes do AMRJ, o mesmo raciocínio utilizado para o caso de falha no cabo alimentador pode ser utilizado para a análise do funcionamento da subestação quando da existência de falha em um dos bancos de transformadores.

A configuração da subestação permite a interligação das cargas conectadas ao barramento de 6,3 kV em apenas um dos bancos transformadores, com uma manobra relativamente simples, que envolve apenas o acionamento do disjuntor de interligação, conforme a figura 05.



Fonte: Autoria própria.

Figura 05: Falha no Banco de Transformadores 01

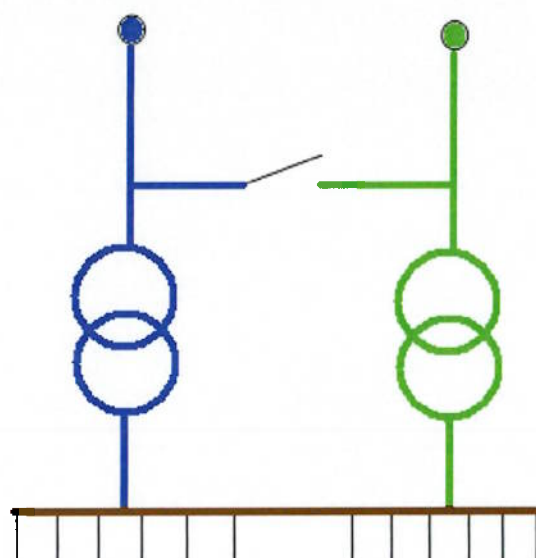
Com a manobra de isolamento do banco de transformadores e a interligação das respectivas cargas ao banco de transformadores que permanecer "vivo", o fornecimento de energia elétrica é rapidamente restabelecido enquanto se providencia o reparo do banco de transformadores que estiver apresentando falha. No entanto, da mesma forma que no caso do cabo alimentador, toda a carga que estava conectada ao banco de transformadores 01 é transferida ao banco de transformadores 02. Tal fato demanda a análise da carga total conectada ao banco de transformadores, já que embora conceitualmente possível, é necessário avaliar se existe capacidade de potência disponível para atender à nova carga conectada ao barramento.

Além disso, é necessário avaliar também o faseamento do barramento, isto é, se a sequência de fases dos dois bancos de transformadores está correta, já que, no caso de uma inversão de fases, podem ocorrer problemas de inversão de sentido de rotação em motores elétricos, o que pode vir a ser catastrófico principalmente para equipamentos que trabalhem com elevação de carga, como guindastes, pontes

rolantes e ainda mais graves, os elevadores de transporte de passageiros, já que estes equipamentos acabarão tendo todo o seu funcionamento invertido, sendo que as proteções denominadas “fim de curso” deixarão de reconhecer os limites mecânicos das máquinas, podendo gerar danos severos aos equipamentos e às pessoas.

No caso do AMRJ, estas situações já foram avaliadas e as respectivas ações já foram adotadas: A capacidade de apenas um dos bancos de transformadores é suficiente para atender a demanda total do AMRJ na maior parte do tempo, sendo que apenas em alguns períodos de algumas horas em dias mais quentes de verão, é necessária a atuação do operador a fim de desalimentar cargas consideradas não essenciais, a fim de manter o fornecimento de energia elétrica para aquelas cargas consideradas prioritárias. Com esta manobra, o valor da demanda total do AMRJ fica abaixo da capacidade nominal do banco de transformadores, fazendo com que o sistema atue de forma segura.

No caso da análise da seqüência de fases, a correção foi executada quando da montagem da subestação, de forma a garantir a eficiência desta manobra de transferência de cargas. Vale dizer ainda que o trabalho de verificação de seqüência de fases foi minuciosamente executado e sucedido de um ajuste da tensão secundária do banco de transformadores, através da comutação dos TAP's, de forma a permitir a transferência de cargas “*on line*”, isto é, é possível transferir as cargas do banco de transformadores 01 para o banco de transformadores 02, e vice versa, sem a necessidade de desligamento de um dos bancos de transformadores, apenas acionando o disjuntor de interligação, e posteriormente isolando o banco de transformadores que estiver saindo de operação. Esta manobra também é conhecida como “paralelismo de transformadores” isto significa que dois ou mais transformadores estão alimentando o mesmo barramento simultaneamente. A figura 06 ilustra a manobra de paralelismo entre transformadores.



Fonte: Autoria própria.

Figura 06: Paralelismo dos Bancos de Transformadores

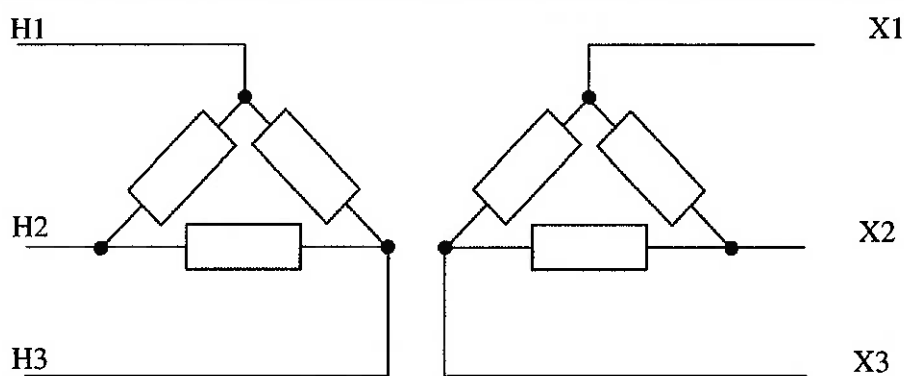
Esta manobra possibilita a transferência de cargas sem interrupção, mesmo que momentânea, do fornecimento de energia elétrica. Desta forma, equipamentos que são automaticamente desligados quando da falta de energia elétrica, como computadores e determinados tipos de motores elétricos, podem continuar funcionando normalmente, sem a necessidade de um novo procedimento de partida. Para que a manobra de paralelismo seja possível, foi necessário avaliar e especificar algumas características dos transformadores, já que a manobra de paralelismo traz com ela alguns inconvenientes. Características como a potência dos bancos de transformadores, a impedância de cada banco, a relação de transformação, o nível de tensão, o tipo de fechamento dos enrolamentos dos transformadores e a capacidade de corrente de curto circuito dos barramentos foram especificações que tiveram de ser rigorosamente seguidas, já que poderiam inviabilizar esta manobra em função dos danos que poderiam ser provocados no sistema elétrico do AMRJ, mais notadamente nos próprios bancos de transformadores e aos barramentos a eles conectados.

Além disso, a manobra de paralelismo deve ser feita por operadores treinados, pois o barramento passará a ser alimentado por duas fontes, o que requer atenção especial, principalmente em manobras de isolamento de equipamentos e circuitos visando a entrega destes ao setor de manutenção, que estará exposto a um alto

nível de tensão, caso a manobra não seja executada corretamente.

Por fim, vale ressaltar outra característica interessante no que se refere aos equipamentos instalados na subestação principal: a configuração dos bancos de transformadores.

Conforme mencionado anteriormente, cada um dos dois bancos de transformadores da subestação principal é formado por três transformadores monofásicos, de 3.500 kVA cada um, formando um banco de transformadores de 10.500 kVA de potência, ligados na configuração conhecida como Delta-Delta, conforme mostrado na figura 07.

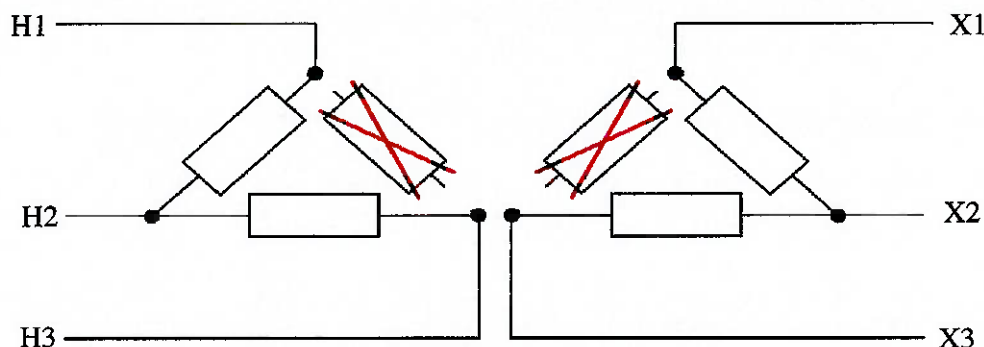


Fonte: Autoria própria, baseado em KOSOW, 1985.

Figura 07: Transformador na configuração Delta-Delta

Esta configuração traz consigo algumas características importantes, como por exemplo a inexistência de defasagem angular entre a tensão aplicada no circuito primário e aquela obtida no circuito secundário. Tal característica é relevante quando do estudo da manobra de paralelismo de transformadores, já que transformadores com configurações diferentes no fechamento das bobinas podem induzir tensões com diferença nos ângulos das fases, provocando correntes indesejadas nos enrolamentos dos transformadores, em função da diferença de tensão provocada pelo deslocamento angular.

No entanto, a configuração delta-delta tem uma flexibilidade inerente. Nesta configuração, é possível utilizar o banco de transformadores, mesmo que um dos três transformadores monofásicos esteja inoperante, através da ligação do tipo Delta aberto, isto é, o “triângulo” delta, ficaria com um de seus lados abertos, com apenas as outras duas bobinas induzindo tensão, conforme a figura 08.



Fonte: Autoria própria, baseado em KOSOW,1985.

Figura 08: Transformador na configuração Delta aberto

Este tipo de ligação é conhecido como V-V, como uma derivação da ligação Delta/Delta (Δ - Δ).

A potência suprida por transformador num sistema V-V não é a metade (50%) da potência total, mas sim 57,7%. Isto pode ser demonstrado como segue. Desde que cada transformador num sistema V-V agora entregue a corrente de linha (e não de fase), a potência suprida por transformador num delta aberto, comparada à potência trifásica total, é:

$$\frac{\text{Potência - por - transformador}}{\text{Potência - total - trifásica}} = \frac{V_f . I_f . \cos \theta}{\sqrt{3} . V_f . I_f . \cos \theta} = \frac{V_l . I_l . \cos \theta}{\sqrt{3} . V_f . I_f . \cos \theta} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577$$

A relação acima também implica que, se dois transformadores estão operando em V-V e com carga nominal, a adição de um terceiro transformador aumenta a capacidade total de 73,2% (ou de $\sqrt{3}$). Assim, um aumento no custo de 50% para o terceiro transformador, permite um acréscimo da capacidade do sistema em 73,2%, ao convertê-lo de V-V em Δ - Δ . Como resultado da ligação V-V, entretanto, a carga aumenta drasticamente em cada transformador, e mesmo assim, a sobrecarga em cada um aumenta pouco. As empresas de energia elétrica tiraram proveito desta

relação, ao iniciar um sistema trifásico pela ligação V-V, e acrescentar um terceiro transformador quando as condições de aumento de carga o exigiam. Este expediente é facilmente justificável, desde que o aumento de capacidade (73%) supra o do investimento adicional (50% dos dois transformadores).

O Delta Aberto ou V-V, não produz rotação de fase entre as tensões de linha primária e secundária. Pode, portanto ser ligado em paralelo com aqueles transformadores (para as mesmas tensões de linha, primárias e secundárias) que não dão deslocamento angular. Além disso, os sistemas V-V apresentam como vantagem o barateamento da manutenção (transformador reserva mais barato que o transformador trifásico) e o fato de que para certas potências e tensões, a demanda de transformadores monofásicos é muito maior que a de trifásicos. Neste caso, um banco trifásico pode ser mais econômico que um transformador trifásico.

No AMRJ existem chaves seccionadoras nos bancos de transformadores que permitem montar a configuração delta aberto sem maiores dificuldades. No entanto, é uma possibilidade que existe, porém não é usualmente utilizada, já que, no caso de falha em um dos transformadores monofásicos, a carga é transferida ao outro banco de transformadores que permanece operante enquanto é providenciado o reparo no banco de transformadores com falha. Trata-se apenas de uma vantagem da configuração do sistema elétrico, que pode vir a ser utilizada numa situação em que não seja possível a transferência das cargas para o outro banco de transformadores.

As subestações interligadas em anel

Conforme mostrado na figura 01, o AMRJ possui sete subestações interligadas através do circuito denominado anel. Este circuito recebe este nome pois, partindo da subestação principal, percorre todo o Complexo Naval alimentando a maior parte dos edifícios da Ilha e finalmente retornando para a subestação principal, formando um anel de interligação. É um circuito que recebe duas alimentações, ambas do banco de transformadores 01, existente na subestação principal.

Este circuito tem a vantagem da flexibilidade operativa quando da existência de falha no cabeamento em uma determinada parte do circuito, ou mesmo num eventual colapso de uma subestação localizada neste circuito, por exemplo a subestação 3, conforme a figura 09.

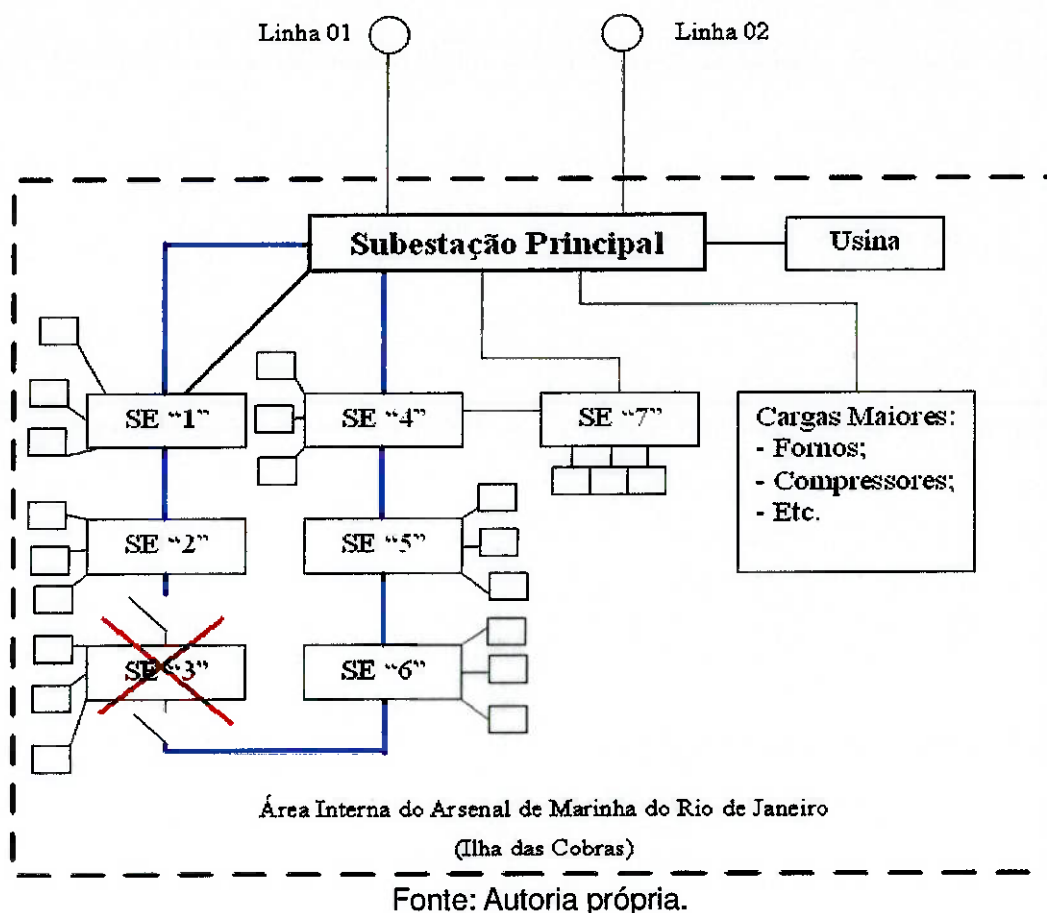


Figura 09: Simulação de colapso na SE "3".

Conforme mostrado na figura 09, mesmo com um colapso ocorrendo na subestação 3, por exemplo provocado pela destruição daquele edifício, é possível manter a maior parte do AMRJ em funcionamento, já que as outras subestações permanecerão alimentadas pelo circuito denominado anel.

Esta configuração permite que o reparo da subestação ou do cabeamento seja executado minimizando os transtornos provocados pela interrupção do fornecimento de energia elétrica, pelo menos para a maior parte do Complexo Naval. No entanto, é necessário que o operador esteja bastante atento ao manobrar este circuito, já que este circuito recebe duas alimentações, o que pode gerar uma tensão de retorno em um circuito que esteja sendo entregue para o setor de manutenção, podendo provocar acidentes muito severos ou até mesmo fatais, caso a manobra de isolamento de uma subestação não seja executada corretamente.

No entanto, há de se fazer algumas considerações sobre os sistemas em anel.

Diferentemente do sistema radial, que recebe apenas uma alimentação, o sistema elétrico em anel pode receber várias alimentações, de forma que este é o tipo de sistema em que a energia elétrica pode trafegar em qualquer sentido (KINDERMANN, 1999).

No caso de defeito, o curto circuito é alimentado por correntes elétricas provenientes de todos os lados, sempre convergindo para o ponto de defeito por todos os lados.

Esta multialimentação é a grande vantagem desta modalidade de sistema, pois quando da ocorrência de defeitos nas linhas de transmissão, a proteção atua desconectando as linhas sem desenergizar as barras, portanto sem perda de consumidores, de forma que tem-se sempre garantido o suprimento de energia elétrica nas cargas.

O sistema em anel é muito mais caro, já que é mais complexo, oferece uma maior continuidade de serviço e menor perda de consumidores, menor queda de tensão, maior confiabilidade e necessita de um sistema de proteção mais complexo, já que a proteção feita apenas com relés de sobrecorrente é impraticável, devido à dificuldade de coordenação. A proteção do sistema em anel é possível se o relé de sobrecorrente receber ajuda do relé direcional. Como o nome indica, o relé direcional tem sensibilidade direcional em relação ao sentido do fluxo de energia que trafega pelo sistema.

O relé direcional que monitora o relé de sobrecorrente confere característica radial aos sistemas em anel. Ou seja, o sistema em anel se comporta como dois sistemas radiais em sentidos opostos. Primeiramente é feita a coordenação em uma direção, depois é feita outra coordenação na direção oposta.

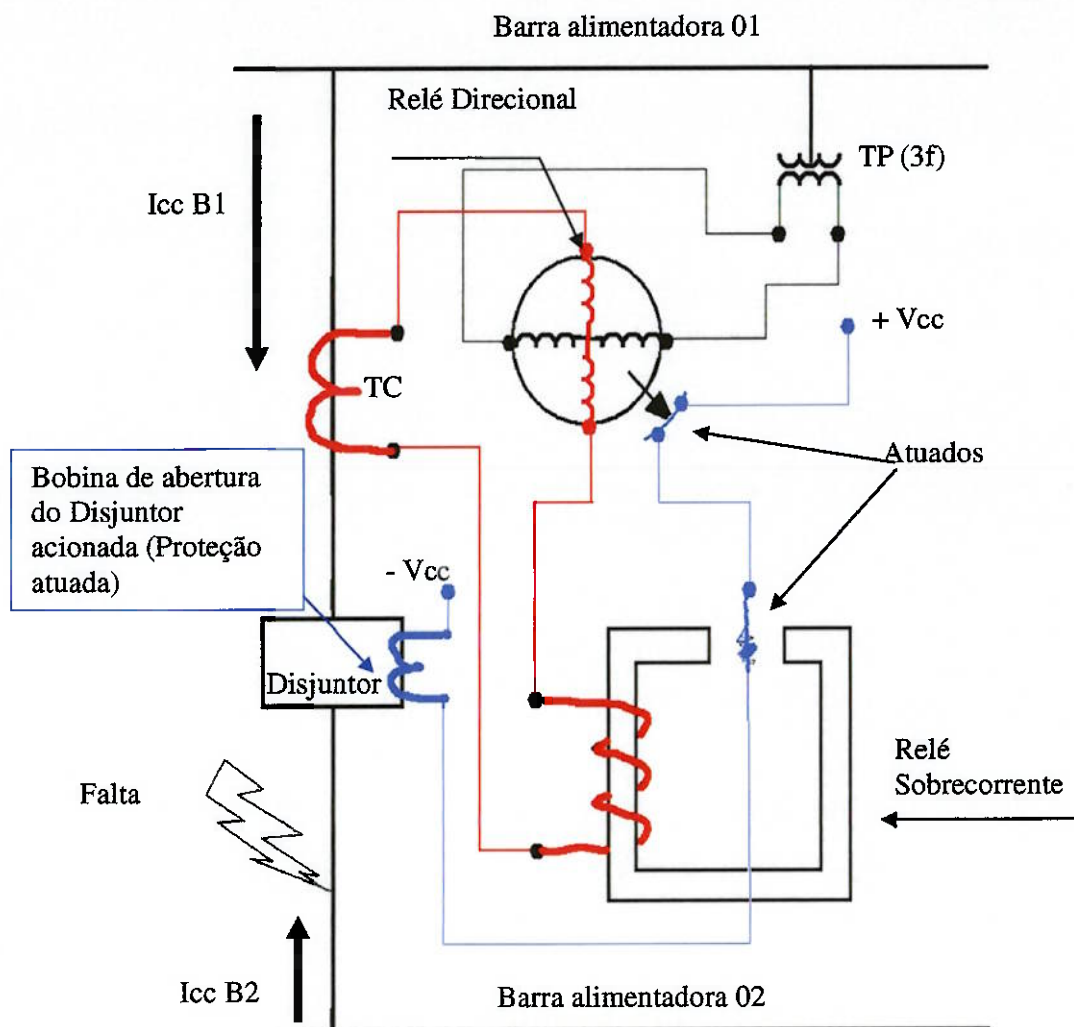
O relé de sobrecorrente é aquele que atua quando da ocorrência de uma corrente elétrica maior que a de seu ajuste. São dispositivos que vigiam o sistema, comparando sempre os parâmetros do sistema com o seu pré ajuste. Por exemplo, quando a corrente de curto circuito ultrapassa a corrente de ajuste do sensor do relé, o mesmo atua instantaneamente ou temporizado, conforme a necessidade da instalação. Como já dito, para os sistemas ligados em anel, a proteção do circuito deve ser feita com o relé de sobrecorrente funcionando em conjunto com o relé direcional.

O relé direcional tem sensibilidade direcional em relação ao sentido do fluxo de energia que trafega pelo sistema. Ele atua quando a corrente tem um sentido pré estabelecido de acordo com sua referência de padronização. Este relé precisa de

duas grandezas de atuação: uma grandeza de polarização, podendo ser tensão ou corrente, normalmente sendo tensão e, uma grandeza de operação, geralmente caracterizada pela corrente.

A “direcionalidade” é dada pela comparação fasorial das posições relativas da corrente de operação e tensão de polarização. Esta defasagem é que produz o sentido do fluxo de energia da corrente de operação ou do curto circuito.

O relé de sobrecorrente direcional apenas tem sensibilidade na direção do fluxo de energia passante, não atuando diretamente na proteção do circuito. A tarefa de proteção é feita pelo relé de sobrecorrente comum. Portanto a proteção é feita em combinação com o relé direcional e o relé de sobrecorrente. Estes dois relés têm seus contatos de acionamento em série, isto é, para que o acionamento do alarme ou o trip do disjuntor seja acionado, deve haver uma sobrecorrente no sentido que sensibilize o relé direcional, conforme a figura abaixo:



Fonte: Autoria própria, baseado em KINDERMANN, 1999.

Figura 10: Relé Direcional e Relé Sobrecorrente atuados simultaneamente.

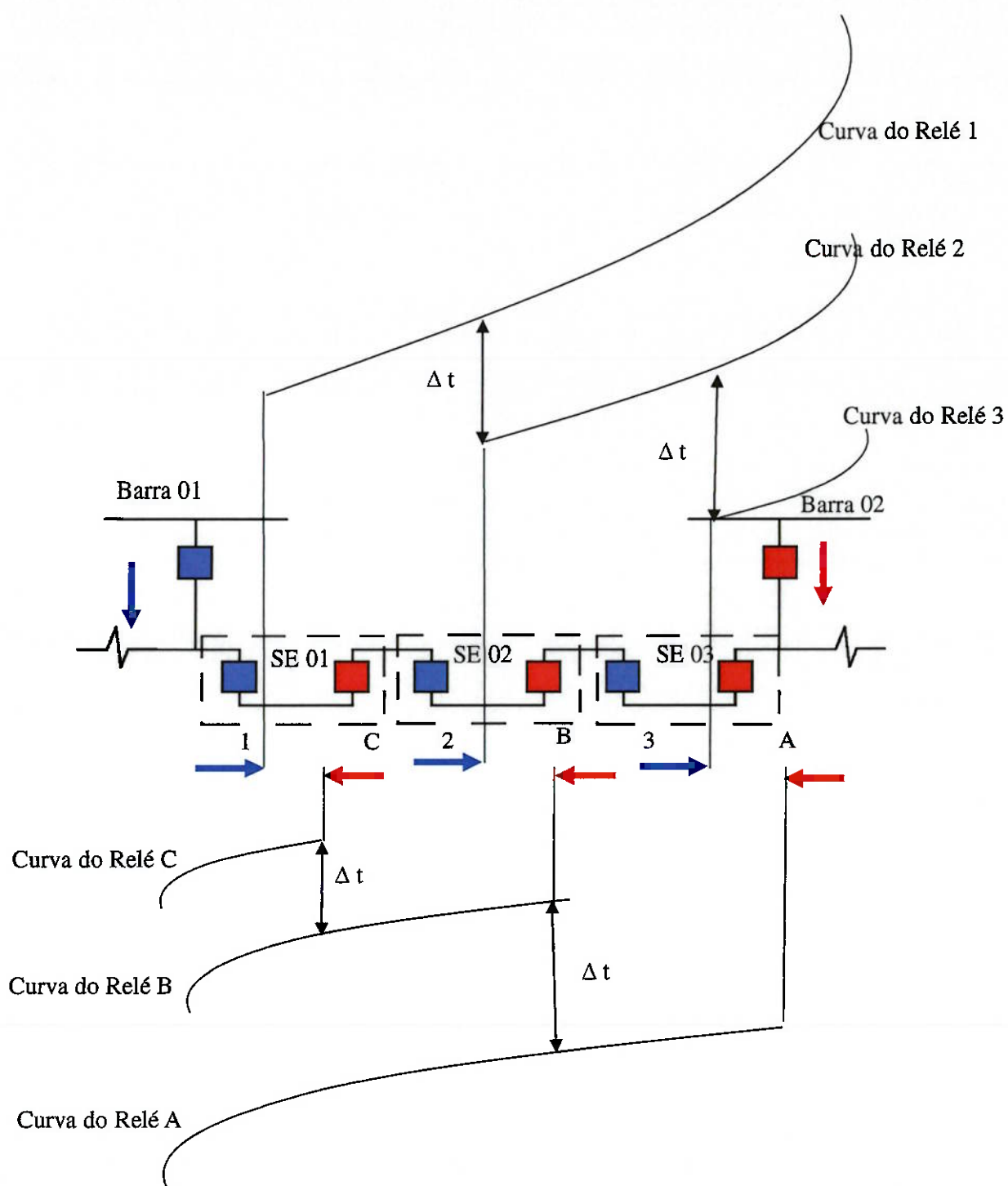
Deve ser notado que a falta na linha se deu à jusante do TC, de forma que o sentido da corrente foi aquele para o qual o relé foi sensibilizado, solicitando sua atuação. Além disso, parte da corrente de falta veio da Barra alimentadora 02. Para esta sobrecorrente da barra 02, o circuito de proteção da figura acima não seria acionado, já que a barra 02 deve ter seu próprio circuito de proteção.

Supondo que a falta tivesse ocorrido à "montante" do TC, o sentido da corrente de falta seria inverso àquele ajustado no relé direcional, de forma que mesmo o acionamento do relé de sobrecorrente ainda não acionaria a bobina de trip do disjuntor, pois o relé direcional não atuaria, bloqueando a alimentação da bobina de trip, conforme a figura 11:

fariam o desligamento com a sensibilização da corrente de curto circuito dela solicitada pelo circuito com a falta.

Para o sistema em anel, todos os relés de sobrecorrente devem ser “supervisionados” por relés direcionais, pois seria impossível a coordenação da proteção sem o auxílio do relé direcional, já que uma falta, por exemplo na metade do circuito, poderia provocar o desligamento geral das duas alimentações, sem o acionamento das proteções intermediárias.

A figura 12 mostra a configuração desejável para o sistema em anel.



Fonte: Autoria própria, baseado em KINDERMANN, 1999.

Figura 12: Coordenação de um Sistema em Anel

A partir da análise da figura 12, fica evidente a coordenação do sistema em anel utilizando o raciocínio de dois sistemas radiais, um no sentido oposto ao outro, de forma que a proteção fica seletiva, por exemplo, com uma falta no barramento da subestação 01, que provocaria o desligamento dos disjuntores 01 e “A”, isolando o defeito, sem interromper o suprimento de energia elétrica das subestações 02 e 03. No AMRJ, dado o longo tempo de utilização dos equipamentos, que já não contam com a mesma precisão de outrora, além das freqüentes manutenções corretivas que se fazem necessárias, a proteção do sistema em anel não funciona de maneira coordenada, isto é, quando da ocorrência de um defeito em qualquer ponto do sistema em anel, os disjuntores de alimentação do circuito são acionados na subestação principal, provocando a interrupção geral do fornecimento de energia elétrica em todas as cargas alimentadas pelo circuito em anel. Neste momento, o operador verifica todo o comprimento do sistema anel, inspecionando subestação por subestação, e religando uma a uma, restabelece o sistema, isolando o defeito de maneira manual, através de manobras de chaves seccionadoras.

A subestação 01

A subestação 01 cumpre um dos papéis mais importantes dentro do sistema elétrico do AMRJ, dada a existência de alguns equipamentos específicos em seu interior. No entanto, antes de mencionar os equipamentos existentes, é necessário explanar as características de algumas cargas instaladas no AMRJ.

Atualmente a Esquadra brasileira é formada por diversos modelos de Navios de superfície e também pela Força Submarina, formada por submarinos convencionais, com propulsão diesel elétrica.

A grande vantagem que os submarinos oferecem é a sua capacidade de ocultação, já que podem permanecer em áreas inimigas sem serem notados, gerando uma vantagem estratégica, por exemplo, durante um combate.

Para que esta ocultação seja possível, os equipamentos devem ser tão silenciosos quanto possível, corroborando com o conceito de ocultação. Para isso, o sistema de distribuição elétrica dos submarinos é feito através de circuito de corrente contínua, alimentados por um banco de baterias, que é alimentado pelo grupo diesel gerador.

Desta forma, com a distribuição de energia elétrica em corrente contínua, todos os

equipamentos utilizam a alimentação contínua, não havendo propagação de som na frequência de 60 Hz, usualmente utilizada nos sistemas elétricos das instalações de terra, já que os grupos diesel geradores permanecem desligados quando o submarino está submerso, devido à ausência de oxigênio para a queima do combustível.

Além dos submarinos, também existem outros consumidores de energia elétrica em corrente contínua no AMRJ, que são os guindastes. Dispostos ao longo dos trilhos existentes ao redor dos três diques secos e mais todo o comprimento de Cais, os guindastes são alimentados em corrente contínua, fornecida através de barramentos existentes na galeria de utilidades, cuja alimentação provém da subestação 01.

Desta forma, para se fazer a alimentação elétrica dos guindastes, e dos submarinos, quando estes permanecem atracados ou docados a fim da execução de algum tipo de reparo, é necessário que exista uma fonte de alimentação em corrente contínua no sistema elétrico do AMRJ. E é na subestação 01 que estão instalados estes equipamentos.

O sistema de geração de corrente contínua do AMRJ é composto por dois geradores de corrente contínua, rotativos, de 500 kW cada, gerando energia elétrica na tensão de 250/125 Vcc. Estes geradores são movidos por motores elétricos síncronos, de potência igual a 805 hp, com 10 pólos. São equipamentos de porte razoável, com aproximadamente 1,70 m de diâmetro e comprimento total do conjunto motor-gerador de 3,0 m. Estes equipamentos foram instalados na década de 1970 e funcionam até os dias de hoje, fornecendo alimentação para os submarinos, quando estes estão atracados no AMRJ, e para os guindastes existentes nos cais e diques.

É necessário também mencionar o sistema de esgotamento da água dos diques secos. Nas décadas de 1920 e 1930, o AMRJ passou por diversas reformas, ampliações e modificações, sendo que a mais importante foi a construção do terceiro e maior dique deste estaleiro, atualmente denominado Dique Almirante Régis.

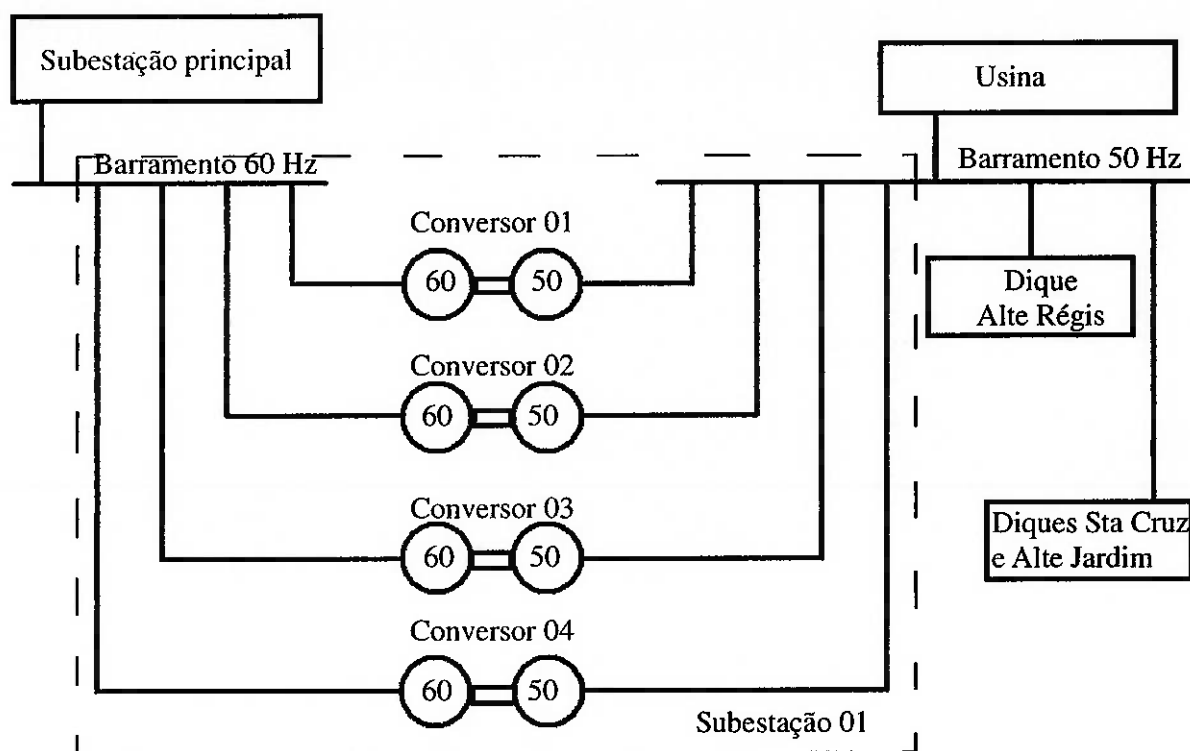
Dentre as diversas obras executadas nesta época, os sistemas de esgotamento de água dos dois diques secos mais antigos foram modernizados, além do novo sistema de esgotamento que foi instalado no dique recém-inaugurado. Este sistema é composto de três bombas localizadas próximo ao dique Almirante Régis e mais duas bombas localizadas entre os Diques Santa Cruz e Almirante Jardim.

As bombas do Dique Almirante Régis são movidas por motores elétricos de 950 hp de potência, enquanto as bombas dos Diques Santa Cruz e Almirante Jardim são

movidas por motores elétricos de 300 hp de potência nominal. Trata-se de um conjunto de cargas de primeira importância para o estaleiro, fazendo o esgotamento dos diques para as manobras de docagem, além de esgotar a água proveniente de falhas na vedação da porta batel.

Os motores elétricos acima mencionados foram adquiridos juntamente com o restante do sistema de esgotamento, nas décadas de 1920 e 1930, época em que a frequência do sistema elétrico brasileiro ainda não havia sido padronizada, fato que só veio a ocorrer na década de 1960, através da Lei nº 4454 de 06 de novembro de 1964. Por isso, os motores elétricos que movem as bombas de esgotamento dos diques funcionam na frequência de 50 Hz, fazendo com que seja necessária a existência de um grupo conversor de frequência no sistema elétrico do AMRJ, a fim de fornecer a energia elétrica na frequência desejada para o sistema de esgotamento dos diques.

Desta forma, a subestação 01 também abriga o sistema de conversão de frequência de 60 para 50 Hz. Este sistema é composto por quatro grupos conversores de frequência, onde cada um é composto por um “motor” síncrono trifásico de 60 Hz, com 12 pólos e 910 hp de potência, alimentado na tensão de 6300 V. Este “motor” está acoplado ao “gerador” de 50 Hz, com 10 pólos e tensão de saída igual a 6300 V. As palavras “motor” e “gerador” estão marcadas com aspas porque não se trata do nome mais apropriado, já que os termos “motor” e “gerador” utilizados, referem-se apenas ao regime de trabalho habitual, isto é, a situação normal é que o lado de 60 Hz atue como motor e o lado de 50 Hz atue como gerador, fornecendo a energia elétrica na tensão e frequência desejada para o sistema de esgotamento dos diques. No entanto, numa situação emergencial, os papéis dos lados de 60 Hz, e de 50 Hz podem ser invertidos, isto é, é possível obter energia elétrica na tensão de 6300 V em 60 Hz, a partir do acionamento do lado de 50 Hz como “motor” fazendo com que o lado de 60 Hz atue como “gerador”. O diagrama unifilar mostrado na figura 10 ilustra o sistema de alimentação elétrica das bombas de esgotamento dos diques.



Fonte: Autoria própria.

Figura 13: Diagrama unifilar do sistema de conversão 60 – 50 Hz.

Conforme apresentado na figura 13, conceitualmente, é possível alimentar o barramento de 60 Hz a partir do acionamento do conversor 60-50 Hz, fazendo com que o lado de 50 Hz funcione como “motor”, e o lado de 60 Hz como “gerador”. No entanto, para isso, são necessários ajustes nos quadros de proteção, já que o sistema poderia rejeitar tal manobra. Além disso, para que seja possível a conversão, o barramento de 50 Hz deve ser alimentado pela Usina Diesel, que será abordada adiante.

Outro papel importante cumprido pelos equipamentos existentes nesta subestação é a correção do fator de potência. Conforme determinado atualmente pela Resolução Normativa nº 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o fator de potência desejado para as instalações consumidoras é 0,92, isto é, a relação entre a potência ativa, que é aquela efetivamente utilizada, e a potência aparente, que é a soma vetorial da potência ativa mais a potência reativa, que é aquela utilizada principalmente na magnetização de equipamentos, deve apresentar um valor maior que 0,92 (em módulo).

Esta resolução visa incentivar a “correção” do fator de potência pelos clientes, já que a energia reativa consumida além do limite oferecido pelo fator de potência de 0,92 é tarifada pela concessionária sob a forma de multa. Esta medida visa otimizar o funcionamento do sistema elétrico brasileiro de uma forma geral, pois a medida que os consumidores corrigem internamente o baixo fator de potência, a concessionária deixa de fornecer esta energia, disponibilizando capacidade em suas linhas de transmissão. Para ilustrar este raciocínio, utilizaremos o seguinte exemplo: suponhamos um transformador trifásico fornecendo a potência de 10.000 kVA para determinada carga, com fator de potência igual a 0,50. Como o fator de potência desejado é 0,92, devem ser tomadas medidas que elevem o fator de potência para o valor desejado (0,92).

Como existe a defasagem de 90° entre a potência ativa e a potência reativa, e a potência aparente é a soma vetorial destas duas, podemos determinar a potência ativa que está efetivamente sendo fornecida pelo transformador:

$$(P. \text{ Ativa} / P. \text{ Aparente}) = \text{Fator de potência} \rightarrow (P. \text{ Ativa} / 10.000) = 0,50 \rightarrow P. \text{ Ativa} = 5.000 \text{ kW}$$

Observa-se neste raciocínio que metade da potência oferecida pelo transformador nesta situação está sendo desperdiçada.

Corrigindo o fator de potência, temos a seguinte situação:

P Ativa permanece a mesma, já que a correção se dará apenas na potência reativa, portanto $P. \text{ ativa} = 5.000 \text{ kW}$;

O fator de potência depois de corrigido será igual a 0,92.

Desta forma, a nova potência aparente fornecida pelo transformador será:

$$(P. \text{ ativa} / P. \text{ aparente}) = \text{Fator de potência} \rightarrow (5000 / P. \text{ aparente}) = 0,92 \rightarrow P. \text{ aparente} = 5435 \text{ kVA}.$$

Isto significa uma diferença bastante significativa, já que o transformador teve um “alívio” de 46% em sua capacidade de fornecimento, isto é, agora é possível, com o mesmo transformador, alimentar a antiga carga de 5000 kW e mais 4665 kVA disponibilizados pela simples correção do fator de potência.

Esta correção é feita através da equalização de cargas indutivas e capacitivas utilizadas pelos clientes. Normalmente as grandes indústrias, como o AMRJ, têm um número elevado de motores, dos mais diversos tipos, tamanhos e potências. A

grande maioria destes motores funcionam através da indução provocada pelo campo magnético girante induzido pela parte fixa dos motores. Desta forma, a correção do fator de potência para estes casos resume-se em: 1- Substituir motores antigos por motores mais modernos, com fator de potência mais alto e 2 – acrescentar cargas capacitivas à instalação, de modo a tentar equilibrar as quantidades de cargas indutivas e capacitivas.

A primeira solução demanda grandes montantes financeiros, já que no caso do AMRJ, seria necessária a substituição de um grande número de motores e muitos destes de grande porte, tornando a solução ainda mais inviável economicamente.

A solução normalmente adotada é a instalação de cargas capacitivas à instalação. Esta correção pode ser feita de duas formas: 1- Instalação de bancos de capacitores ou 2- utilização de motores elétricos síncronos superexcitados.

No caso do AMRJ, as duas soluções são adotadas. Na subestação principal existem bancos de capacitores que somados, acrescentam a potência reativa de 3600 kVAr à instalação. Apesar de se tratar de uma potência significativa, ela ainda não é suficiente para manter o fator de potência acima do valor de 0,92, sendo necessário o acréscimo de mais cargas capacitivas à instalação.

Este acréscimo de cargas capacitivas é feito através do acionamento dos motores síncronos do sistema de geração de corrente contínua e do sistema de conversão de frequência 60 – 50 Hz.

Com o acionamento destes motores síncronos operando em regime de sobre-excitação, estes se comportam como cargas capacitivas, contribuindo para a equalização do conjunto de cargas indutivas e capacitivas, e desta forma, contribuindo para que o fator de potência seja mantido acima do valor de 0,92, evitando assim a cobrança da energia reativa por parte da concessionária.

A Usina Diesel

A Usina Diesel fica localizada ao lado da subestação principal do AMRJ e foi construída na década de 1940, quando foram instaladas quatro unidades geradoras, acopladas a motores diesel.

Possui capacidade nominal de 4500 kVA, distribuídos da seguinte forma: 01 gerador de 1500 kVA de potência, que gera energia elétrica na frequência de 60 Hz; e 03 geradores de 1000 kVA de potência cada, que geram energia elétrica na frequência

de 50 Hz.

O principal propósito da Usina Diesel é atender à alimentação elétrica do sistema de esgotamento da água dos diques, haja vista a instalação de três geradores com frequência de 50 Hz, justamente a frequência utilizada pelo referido sistema.

No entanto, conforme mencionado anteriormente, é possível fazer a alimentação do barramento de 60 Hz a partir do acionamento dos conversores 60-50 Hz, sendo estes alimentados pela Usina Diesel, e dessa forma alimentar o restante do AMRJ.

Vale dizer que a Usina Diesel não possui capacidade para atender a demanda total do AMRJ, de forma que, no caso de necessidade de acionamento da Usina Diesel por falta de alimentação elétrica da concessionária, é necessário fazer a seleção de cargas essenciais, fazendo o desligamento das cargas consideradas secundárias, através de manobras das chaves seccionadoras existentes nas subestações distribuídas ao longo do Complexo Naval.

O Software de gerenciamento da energia elétrica

O AMRJ conta ainda com uma outra importante ferramenta de auxílio no gerenciamento da energia elétrica utilizada no Complexo Naval. Trata-se de um software instalado em um computador, que capta os dados mais importantes do sistema elétrico do AMRJ de maneira permanente, isto é, existem diversos equipamentos instalados nas subestações mais importantes do Complexo Naval que têm por finalidade monitorar os valores de tensão, corrente, fator de potência, demanda de potência, consumo total e consumo dos clientes. Estes equipamentos captam estas informações e transmitem ao computador central através de um sinal transmitido através da rede de dados existente no AMRJ.

Com as informações acumuladas no computador central, o software é capaz de cumprir funções importantes, como determinar o consumo dos Navios e ainda, controlar o fator de potência, isto é, além de monitorar permanentemente o fator de potência, o software é capaz de interferir no sistema elétrico, acrescentando ou eliminando cargas capacitivas, que são os bancos de capacitores existentes na subestação principal. Estes capacitores são comandados pelo software e são ligados e desligados automaticamente, conforme a potência capacitiva necessária solicitada quando da ocorrência de baixos fatores de potência.

Além disso, o software também permanece vigilante com relação à demanda de

potência.

Devemos entender demanda como a soma instantânea de todas as cargas conectadas e ligadas simultaneamente em uma instalação.

A Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL, entre outras coisas, também estabelece um limite para a ultrapassagem da demanda de energia elétrica em 5%, isto é, a ultrapassagem no valor da demanda em até 5% é tolerado como ajuste, sendo cobrado pela tarifa normal estabelecida no contrato. Quando o valor da demanda ultrapassa a barreira de 5% acima do limite, a concessionária aplica o valor de ultrapassagem da demanda sobre todo o valor excedido além do contrato, isto é, no caso de uma demanda contratada de 10.000 kVA, o valor que a demanda pode atingir antes da aplicação da tarifa de ultrapassagem da demanda é $10.000 + 5\% = 10.500$ kW. Até este limite, a concessionária efetuará a cobrança dos 10.500 kW utilizando a tarifa estipulada no contrato. No entanto, caso a demanda ultrapasse os 5% de tolerância, e por exemplo, atinja o valor de 10.510 kW, a concessionária aplicará a tarifa estipulada no contrato sobre o montante de 10.000 kW e os demais 510 kW serão cobrados utilizando a tarifa de Ultrapassagem da Demanda, que embora tenha este nome mais técnico, trata-se de uma forma de penalização, já que os valores são bem superiores aos valores estipulados em contrato, normalmente girando na casa dos 300% do valor da tarifa da demanda contratada.

Este critério visa estimular o controle da demanda, já que o sistema elétrico, por sua característica de simultaneidade entre a geração e o consumo, deve ser dimensionado para atender a maior demanda, de forma que se não for efetuada uma utilização racional do sistema elétrico, são necessários investimentos bilionários para dimensionar um sistema elétrico que será plenamente utilizado durante apenas um pequeno período do dia, fazendo com que o sistema trabalhe com grande capacidade ociosa durante a maior parte do dia.

O Software de gerenciamento de energia elétrica atua no controle da demanda de maneira similar ao controle do fator de potência. O software permanece monitorando a demanda acompanhando sua evolução, para mais ou para menos, quando a demanda atinge valores predeterminados, o software age de maneira automática, desalimentando cargas menos importantes, fazendo com que o valor da demanda permaneça abaixo do limite de 105%. Quando a demanda diminui, o software religa as cargas automaticamente, restabelecendo o fornecimento de energia elétrica.

Os valores referentes aos limites da demanda, bem como as cargas que deverão ser

chaveadas devem ser previamente programadas no software e devem ser fruto de uma análise bastante criteriosa, já que eventuais falhas podem trazer grandes prejuízos tanto na forma de multa, quando em função de um valor programado muito próximo ao limite de 105% a demanda máxima é ultrapassada, mesmo que apenas uma vez em todo mês, quanto no caso da desalimentação de cargas prioritárias, por exemplo, câmaras frigoríficas, que podem fazer com que todo o estoque se deteriore com o aumento da temperatura.

A Manutenção Centrada na Confiabilidade

A Manutenção Centrada na Confiabilidade, ou MCC, trata-se de uma nova filosofia de manutenção, um aprimoramento de suas antecessoras: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva e a manutenção produtiva.

Sua origem relaciona-se aos processos tecnológicos e sociais desenvolvidos no pós Segunda Guerra Mundial, quando houve um salto tecnológico resultante das pesquisas realizadas pela indústria bélica americana, seguidas pela automação industrial possibilitada pelo avanço tecnológico da informática e das telecomunicações.

Além disso, a sociedade tornou-se mais dependente dos grandes processos automáticos de produção, que atingiram níveis suficientes para causarem grandes desastres ambientais e afetar a própria segurança física dos seres humanos. Em paralelo, desenvolveu-se a consciência ambiental, preocupada com a utilização sustentável dos recursos naturais e também com a saúde e segurança dos seres humanos. Desta forma, atualmente exige-se que os processos de projeto e manutenção dos meios de produção não apenas atendam a estes anseios como também sejam estruturados de forma transparente e auditável, permitindo à sociedade exercer seu papel de fiscalização.

A história da Manutenção inicia-se na década de 1940 - 50, no final da Segunda Guerra Mundial, com a ainda incipiente mecanização da indústria, que utilizava equipamentos superdimensionados, que somado à baixa dependência da sociedade em relação à indústria mecanizada, restringia a atuação da manutenção à reposição de itens danificados.

A partir de 1950, já com o encerramento da Segunda Guerra Mundial, e com o esforço da industrialização no pós-guerra, foi notável a disseminação das linhas de

produção contínua, o que foi o início da “dependência” da sociedade em relação aos processos industriais. Nesta época, ficou marcada a primeira grande escassez de mão de obra qualificada devido à velocidade do processo de automação da produção, o que gerou as primeiras preocupações com a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos no ambiente industrial.

No período que se inicia em 1975, a automação assumiu escala exponencial na inovação dos processos, de modo que as ferramentas e filosofias de manutenção desenvolvidas até então tornaram-se obsoletas, exigindo o desenvolvimento de uma técnica que atendesse a nova realidade da indústria desta época. Simultaneamente o consumo em larga escala de produtos industrializados elevou o nível de dependência da sociedade em relação aos processos industriais. A elevação dos custos de mão de obra e de capital, associados à concorrência em escala mundial, conduziram à prática do dimensionamento de equipamentos no limite da necessidade dos produtos e processos, tornando mais estreitas suas faixas de operação, aumentando a importância da manutenção.

Além disso, a geração de pessoas desta época passou a exigir melhor qualidade, garantia de desempenho e vida útil dos produtos, além dos requisitos de maior disponibilidade e confiabilidade. Serviços prioritários como saúde, telecomunicações, energia e transporte público passaram a depender totalmente de processos automáticos, de forma que falhas pudessem produzir efeitos sociais muito além da simples avaliação econômica dos custos. Tudo isso somado ao aumento da preocupação com a preservação ambiental, a garantia da segurança dos usuários de processos e produtos industriais, geraram as condições que motivaram o surgimento da metodologia MCC.

A metodologia aborda a manutenção de uma forma ampla e integrada aos interesses da alta administração. Seus trabalhos são desenvolvidos por equipes multidisciplinares que integram todos os conhecimentos e interesses da organização. Todos os equipamentos são cadastrados e conforme sua aplicação são “alocados” em um subsistema que faz parte de um sistema maior que atende a um determinado fim dentro da organização. Neste raciocínio, o cumprimento da atividade fim é o objetivo principal, de forma que equipamentos e sistemas vitais têm preferência na distribuição de recursos em detrimento de sistemas secundários, não ligados diretamente a atividade fim.

Nesta metodologia, o conceito “fazer manutenção” é deixado de lado, sendo

substituído pelo “avaliar o equipamento”. O principal objetivo deste princípio é evitar intervenções desnecessárias que comprovadamente nada contribuem para o aumento da expectativa de vida útil dos equipamentos, de forma que os recursos que seriam utilizados em uma intervenção “desnecessária” passem a ser concentrados nos pontos chaves (gargalos) do processo, reduzindo desta maneira, o tempo de indisponibilidade dos sistemas.

Mas para que esta análise seja confiável, é necessária uma análise precisa dos processos da organização, além de uma avaliação da série histórica de falhas de maneira a comprovar as conclusões do time de planejamento da manutenção, já que uma avaliação errada no momento do planejamento acaba por prejudicar os trabalhos futuros.

Para isso, sugere-se o apoio tecnológico de um software de gerenciamento da manutenção, que possa concentrar as informações de todos os equipamentos, incluí-los em seus respectivos sub-sistemas, apontar e registrar as falhas, causa-raiz, tempo de indisponibilidade e demais informações pertinentes a cada intervenção, e a partir daí subsidiar cálculos estatísticos que possam contribuir com o aprimoramento da manutenção, visando sempre o aumento dos índices de confiabilidade e disponibilidade do sistema.

Também é necessária a formação de uma equipe consistente, comprometida com os objetivos da manutenção e alinhada com os objetivos da organização, já que sendo a implantação da metodologia MCC extremamente complexa e trabalhosa, torna-se algo impensável num ambiente de baixa motivação, ou ainda, alta rotatividade de pessoas.

Por fim, a implantação da metodologia demanda a contratação de uma consultoria, um time especializado que auxilie desde a alta administração até as pessoas que estarão envolvidas diretamente com o dia a dia da manutenção, já que a implantação desta filosofia normalmente envolve aquilo que é chamado de “quebra de paradigma” quando as pessoas são orientadas a desenvolver suas atividades de maneira diferente daquelas a que foram habituadas durante anos.

O Tempo de utilização do Sistema Elétrico do AMRJ

Ao longo deste trabalho, foram mencionadas as principais características do sistema elétrico do AMRJ juntamente com a época da instalação dos equipamentos

existentes nas subestações e na Usina Diesel.

A última grande reforma feita no sistema elétrico do AMRJ foi executada na década de 1930, em consonância com as obras de modernização e ampliação das instalações do AMRJ onde a benfeitoria mais evidente foi a construção do Dique Almirante Régis.

Desde então, houve algumas obras pontuais, com a construção ou modernização de uma ou outra subestação.

Desta forma, existem equipamentos que caminham para os 70 anos de utilização.

Este é um tempo extremamente longo para a vida útil de equipamentos elétricos, haja vista a exposição severa a que estes são expostos, como eventuais sobretensões, sobrecarga e ainda no caso do AMRJ, salinidade marítima, devido à proximidade com as águas da Baía de Guanabara, além da exposição à intempéries, no caso de equipamentos que não ficam em áreas abrigadas.

Estes equipamentos não contam com as inovações tecnológicas incorporadas a equipamentos mais modernos, principalmente no tocante aos controles eletrônicos.

Apesar de o sistema elétrico ter sido construído com equipamentos de primeira qualidade, o longo tempo de uso faz com que o desempenho notado atualmente seja bastante inferior ao obtido logo após a instalação dos equipamentos.

A título de exemplo, pode-se citar o caso dos disjuntores de 25 kV da subestação principal. Mesmo tendo sido fabricados por empresas multinacionais com altos níveis de qualidade, o desgaste natural dos componentes internos do mecanismo de comutação não permite que as manobras sejam executadas de forma tão confiável quanto o eram na época da instalação. Obviamente que este problema pode ser minimizado com procedimentos de manutenção, no entanto, trata-se de equipamentos mais antigos, cujo mercado de reposição praticamente não existe, restringindo-se a depósitos de máquinas e equipamentos mais antigos, que não fornecem peças novas e sim peças usadas, retiradas de equipamentos já aposentados. Ainda assim nem sempre é possível encontrar tais peças, de forma que eventualmente torna-se necessária a confecção de tais peças por meios próprios, porém sem a tecnologia e *know how* dos desenvolvedores do equipamento. E existe ainda o último recurso, que é a utilização de peças de equipamentos similares de menor importância para o sistema elétrico, num processo denominado no chão de fábrica de “canibalização”.

Conclusão

Ao avaliar o projeto do sistema elétrico do AMRJ, fica evidente a preocupação do projetista com a flexibilidade da instalação.

Foram muitos cuidados tomados no momento da configuração dos equipamentos, por exemplo, nas redundâncias aplicadas, como no caso da subestação principal, onde é possível transferir toda a carga do AMRJ para um ou outro Banco de Transformadores e/ou linha de alimentação da concessionária, conforme a necessidade.

O circuito interligado em “anel” também constitui um ponto de forte flexibilidade, já que as principais subestações são alimentadas por dois pontos provenientes de locais diferentes, garantindo o fornecimento de energia elétrica ainda que um evento mais severo ocorra em um dos dois cabos alimentadores.

Este raciocínio é corroborado ao avaliar a capacidade de transmissão destes cabos elétricos, que no primeiro momento, aparentam um superdimensionamento, já que possuem capacidade bem superior ao valor nominal encontrado quando da operação em dias de rotina normal do AMRJ. No entanto, estes cabos podem absorver um acréscimo de potência considerável, no caso de um incidente que inviabilize um dos lados da alimentação, podendo assumir integralmente a alimentação elétrica do circuito.

Este “superdimensionamento” do sistema elétrico fez com que este trabalhasse bem abaixo da capacidade nominal durante todos estes anos. Tal fato contribuiu para o prolongamento da vida útil destes equipamentos, já que por estarem operando abaixo da capacidade, recebem solicitações bem menos severas do que aquelas que poderiam ser suportadas, fazendo com que o desgaste tenha sido minimizado, e os equipamentos permaneçam em operação até os dias de hoje.

No entanto, mesmo este “superdimensionamento” dos equipamentos não será capaz de prolongar ainda mais a vida útil dos equipamentos, fazendo com que as intervenções para manutenção sejam cada vez mais frequentes.

E eis aqui a maior dificuldade do sistema elétrico do AMRJ: a inexistência de peças de reposição para os equipamentos que se encontram em operação.

O exemplo mais clássico desta dificuldade é a Usina Diesel. Embora tenha sido

dimensionada para cumprir um papel de retaguarda para o sistema de esgotamento dos diques, a última vez que a usina foi colocada em operação foi no ano de 2001, visando contribuir para minimizar os efeitos da crise energética que se abateu sobre o Brasil, quando o país teve de cortar o consumo de energia em 20% a fim de evitar cortes gerais no fornecimento de energia elétrica, na época chamado de “apagão”.

Nesta oportunidade, ficou evidente a avançada idade dos geradores, que devido à falta de peças de reposição, ofereceram grandes dificuldades para cumprir seu propósito de gerar energia elétrica, encontrando-se fora de operação desde então.

Além disso, ainda que fosse possível o funcionamento da Usina Diesel, sua capacidade de atendimento às cargas do AMRJ seria limitada pelo sistema de conversão de frequência 60-50 Hz, já que, também devido à avançada idade dos equipamentos, existem diversas folgas que provocam vibrações excessivas e prejudicam o desempenho das máquinas, reduzindo sua capacidade de conversão.

O mesmo raciocínio se aplica ao sistema de geração de corrente contínua, cuja condição de conservação é muito parecida com a dos conversores de frequência, com as máquinas apresentando vibrações bastante perceptíveis.

Neste cenário de equipamentos em final de vida útil, somado a inexistência de um sistema de registro e controle de manutenção, fica incoerente uma proposta de uma tentativa mais ousada de utilização do sistema elétrico, ou ainda, a proposição da implantação de um sistema de manutenção centrado na confiabilidade, que poderia otimizar os esforços da equipe de manutenção, concentrando-os onde realmente fossem os pontos críticos do sistema.

Por fim, conclui-se que o AMRJ conta com um invejável sistema elétrico, maior e mais complexo que o de muitas cidades, possuindo equipamentos e sistemas que permitem a este estaleiro atender suas diversas demandas, que vão desde a simples iluminação de galpões até a alimentação elétrica de submarinos e navios de superfície, passando pelo fornecimento de energia estabilizada para equipamentos eletrônicos mais sensíveis, existentes, por exemplo, nas Fragatas.

E para que o sistema elétrico seja capaz de continuar cumprindo seu papel, é fundamental que seja implantado um projeto de revitalização das instalações elétricas, com uma programação financeira compatível com a modernização das instalações, que poderá inclusive viabilizar uma proposta de implantação de um sistema de Manutenção Centrada na Confiabilidade, visando evitar que eventuais interrupções no fornecimento de energia acabem prejudicando a atividade fim deste

estaleiro: reparar e construir os navios para a Marinha do Brasil, cumprindo seu importante papel de apoiador logístico da Esquadra brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KOSOW I.L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**, 5 ed. Rio de Janeiro: GLOBO, 1985. 667 p.
2. HAYT Jr, W.H.; KEMMERLY, J.E. **Análise de Circuitos em Engenharia**. São Paulo: MCGRAW-HILL, 1975. 619 p.
3. GUIMARÃES, L.S. **Gerenciamento de Riscos e Segurança de Sistemas**. Rio de Janeiro: ABDAN, 2003. 187 p.
4. SIQUEIRA, I.P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: QUALITYMARK, 2005. 408p.
5. MAMEDE F.,J. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 778 p.
6. MAMEDE F.,J. **Instalações Elétricas Industriais**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.914 p.
7. KINDERMANN, G. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 1 ed. Florianópolis:, 1999. 1v.
8. KINDERMANN, G. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 1 ed. Florianópolis:, 2006. 2v.
9. KINDERMANN, G. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 1 ed. Florianópolis:, 2008. 3v.
10. CAMINHA, A. C. **Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos**. 6 ed. EDGARD BLÜCHER LTDA. 1991.
11. LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. QUALITYMARK: PETROBRAS. 2001. 388p.

12. BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Resolução Normativa n.414, de 09 de setembro de 2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 15 set. 2010. Seção 1. p. 115.

13. BRASIL. Lei nº 4.454, de 6 de Novembro de 1964. Dispõe sobre a unificação de frequência da corrente elétrica no País. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 nov. 1964. Seção 1. p. 10121.

14. ELETRO-ESTUDOS ENGENHARIA LTDA. **Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro: Diagrama Unifilar Geral 25/6,3 kV (Situação Atual)**. 10 jan. 1997. Desenhista: P.J.R.N./W.R.S. n. ELETRO-ESTUDOS AMRJ-15.A0.001/97.

15. ARSENAL DE MARINHA DO RIO DE JANEIRO. Rio de Janeiro. Apresenta evolução histórica do estaleiro. <<http://www.mar.mil.br/amrj/historico.htm>>. Acesso em: 17 maio 2011.