



**GRUPO - VIII**

**GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE**

**ANÁLISE DE SUPERAÇÃO DE INSTALAÇÕES DE ALTA TENSÃO COM APLICAÇÃO NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

**Rebecca Laginestra Sinder**  
**COPPE/UFRJ**

**Tatiana Mariano Lessa Assis (\*)**  
**COPPE/UFRJ**

**Andréia Maia Monteiro**  
**ONS**

**Antonio Carlos Cavalcanti de Carvalho**  
**ONS**

**RESUMO**

No Brasil, os parques eólicos têm vivenciado um crescimento excepcional nos últimos anos. Sua integração à instalações existentes pode, entretanto, resultar em problemas de superação dos limites de suportabilidade de barramentos e equipamentos. Esse trabalho analisa o impacto da inserção de parques eólicos a uma subestação do Sistema Interligado Nacional, localizada na região nordeste do Brasil. Inicialmente, a metodologia de análise de superação é descrita, considerando a superação por corrente de curto-circuito e por corrente de carga. Os resultados indicam que medidas mitigadoras e medidas operativas são fundamentais para contornar problemas de superação e postergar a substituição dos equipamentos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Superação, Curto-circuito, Sobrecarga, Equipamentos de Manobra, Geração Eólica

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Parques eólicos têm experimentado um desenvolvimento sem precedentes nos últimos tempos (1). No Brasil, a capacidade instalada praticamente duplicou em 2015 com relação a 2014, atingindo 10,5 GW em 2017. Embora este total represente atualmente apenas 6,94% da capacidade total de geração do país, a integração dessa tecnologia é definitiva, ganhando espaço nos leilões de energia com custos cada vez mais atrativos.

A integração de fontes renováveis associada ao livre acesso à rede de transmissão trouxe novos desafios aos operadores do sistema de energia (2). No Brasil, leilões de fontes alternativas de energia foram criados para incentivar a diversificação da matriz energética. No entanto, em muitas situações, as instalações existentes não estão preparadas para incorporar a quantidade de energia leiloadas, podendo violar os limites de suportabilidade dos equipamentos e instalações.

A integração de parques eólicos em instalações existentes, não prevista originalmente, pode resultar em problemas de superação. A maioria deles está relacionada com a capacidade de interrupção da corrente de curto-circuito dos disjuntores e com os limites da corrente nominal de equipamentos de manobra e barramentos.

Este trabalho apresenta a metodologia de análise de superação em instalações de alta tensão, com foco em disjuntores, chaves seccionadoras e barramentos. Tal metodologia é aplicada a uma importante subestação do Sistema Interligado Nacional localizada no estado do Rio Grande do Norte, um dos maiores produtores de energia eólica do país. Estudos de curto-circuito e fluxo de potência são realizados a fim de analisar a influência da inserção de novos parques eólicos à subestação estudada, observando os limites de suportabilidade dos equipamentos e instalações.

(\*) Av. Athos da Silveira Ramos, 149 – Cidade Universitária – CEP: 21941-914  
Centro de Tecnologia – Bloco H, Sala 227 - Rio de Janeiro, RJ – Brasil  
Tel: (+55 21) 2562-8016 – Fax: (+55 21) 2572-8017 – Email: tatiana@dee.ufrj.br

De forma a preservar a integridade do sistema, garantindo a operação segura do mesmo, medidas mitigadoras foram implementadas para o caso de superação por corrente de curto-circuito. Nos casos de superação por corrente de carga, análises do tempo de sobrecarga admissível para equipamentos de manobra foram realizadas, com o intuito de tratar o problema de superação através de medidas operativas. Tais medidas serão abordadas nas seções seguintes.

## 2.0 - METODOLOGIA

Equipamentos com conexão série encontrados em subestações de alta tensão, como disjuntores, chaves seccionadoras, bobinas de bloqueio e transformadores de corrente são os equipamentos mais propícios a problemas de superação (3). O monitoramento periódico da evolução do sistema é essencial para avaliar possíveis violações dos limites dos equipamentos, de forma a garantir a operação segura do mesmo. Para uma análise de superação completa, a evolução das seguintes grandezas deve ser monitorada:

- Corrente de carga (regime permanente);
- Corrente de curto-circuito (simétrica e assimétrica);
- Tensão de restabelecimento transitória (TRT);
- Constante de tempo da rede (X/R).

De acordo com relatórios do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (4), 85% da superação no Sistema Interligado Nacional ocorrem devido à corrente de curto-circuito e à corrente de carga. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo o monitoramento dessas duas grandezas. As metodologias utilizadas para a análise de superação por corrente de curto-circuito e por corrente de carga estão descritas na Seção 2.1 e 2.2, respectivamente.

### 2.1 Superação por Corrente de Curto-circuito

A superação por corrente de curto-circuito é caracterizada pela ocorrência de correntes de curto-circuito simétricas ou assimétricas, com magnitudes superiores àquelas definidas como nominais para os equipamentos em análise (3). A metodologia para análise de superação de disjuntores por corrente de curto-circuito simétrica está ilustrada no fluxograma da Figura 1.

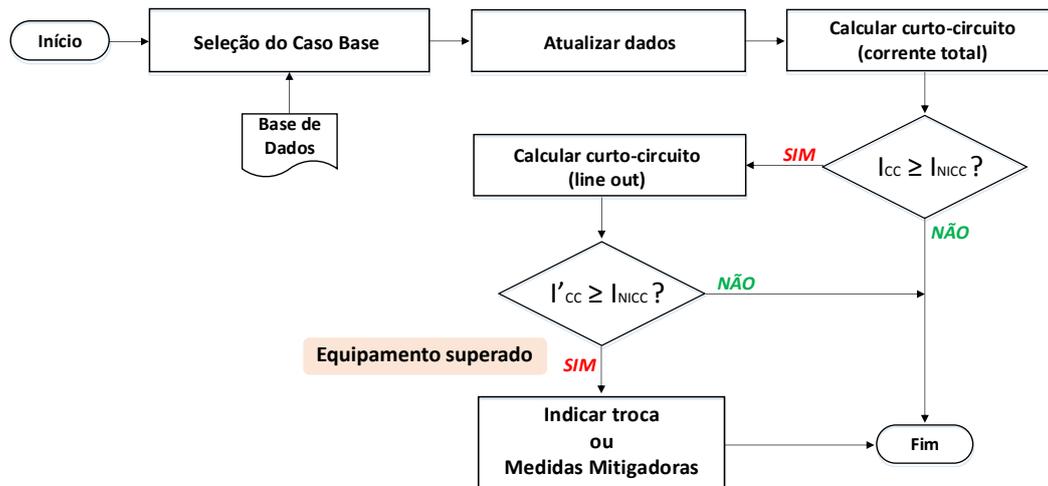


FIGURA 1 – Metodologia para análise de superação de disjuntores por corrente de curto-circuito simétrica

A primeira etapa da análise de superação consiste na seleção do caso base que, para estudos do SIN, é horizonte do Plano de Ampliações e Reforços - PAR. De posse do caso base, deve-se atualizar a base de dados levando em consideração os parâmetros da nova instalação, além de cancelamentos e mudanças de projetos.

Seguindo o fluxograma, a próxima etapa consiste no cálculo do curto-circuito monofásico e trifásico na barra da nova instalação, assim como nas barras adjacentes. O nível de curto-circuito é comparado com o disjuntor de menor valor de capacidade de interrupção simétrica conectado ao barramento. Dependendo deste resultado de comparação, o disjuntor pode ser classificado conforme a Tabela 1 (5).

Tabela 1 – Classificação do disjuntor em relação à corrente de curto-circuito

Condição	Classificação
$I_{CC} \geq I_{NICC}$	Superado
$0,90.I_{NICC} \leq I_{CC} < I_{NICC}$	Alerta
$I_{CC} < 0,90.I_{NICC}$	Não Superado

Na Tabela 1,  $I_{CC}$  corresponde à corrente de curto-circuito total calculada no barramento analisado e  $I_{NICC}$  corresponde à capacidade nominal de interrupção simétrica do disjuntor.

Se a corrente de curto-circuito total calculada for igual ou superior à capacidade nominal de interrupção do disjuntor, o mesmo é considerado preliminarmente superado. Nesse caso, uma análise mais detalhada deverá ser realizada para calcular a corrente efetiva em cada disjuntor da subestação durante a falta. Tal análise é feita considerando-se três situações, conforme ilustrado na Figura 2: a) falta na barra; b) falta no início de cada linha conectada à subestação; c) falha no início de cada linha, considerando o terminal remoto aberto (*line out*).

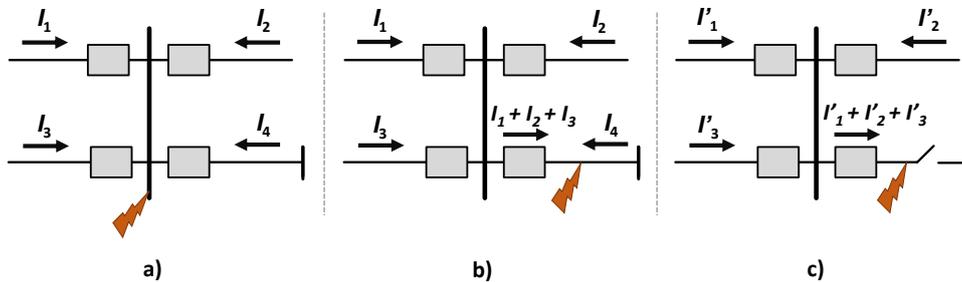


FIGURA 2 – Análise da corrente passante em cada disjuntor

Na maioria dos casos, a condição c) é a pior condição, definindo a máxima corrente que efetivamente passa através de cada disjuntor (6). O estudo complementar deve ser realizado para cada disjuntor conectado ao barramento em análise, comparando a corrente passante no equipamento com sua respectiva capacidade de interrupção simétrica. Esse estudo permite verificar se de fato há superação e, caso a superação seja confirmada, calcular o quantitativo de disjuntores superados.

A última etapa do fluxograma da Figura 1 indica o que deve ser feito em casos de superação. A solução natural é a substituição do equipamento cujo limite foi violado. Entretanto, existem situações em que o custo ou o impacto operacional necessário para a substituição a tornam inviável. Nesses casos, cabe avaliar a aplicação de medidas mitigadoras que reduzam as correntes de curto-circuito a valores compatíveis aos dos equipamentos existentes. As medidas mitigadoras incluem seccionamento de barra, *by-pass* de barra ou a conexão de reatores limitadores de corrente de curto-circuito.

## 2.2 Superação por Corrente de Carga

A superação por corrente de carga é caracterizada pela ocorrência de valores de correntes superiores à corrente nominal dos barramentos ou equipamentos de manobra (3). A análise é realizada para as condições de rede completa, com a subestação na sua forma íntegra, e rede alterada com um ou mais elementos indisponíveis. A Figura 3 ilustra a metodologia para análise de superação de barramentos e equipamentos de manobra por corrente de carga.

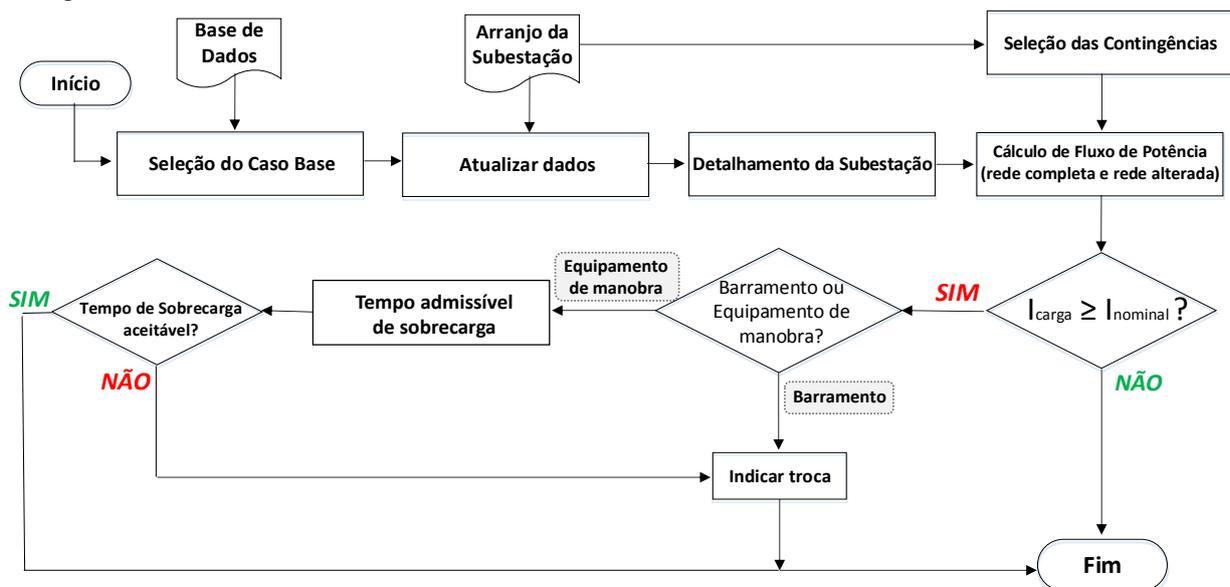


FIGURA 3 – Metodologia para análise de superação por corrente de carga

Assim como na análise de curto-circuito, a primeira etapa consiste na seleção do caso base e sua atualização. De posse do caso base atualizado, deve-se modelar a subestação detalhadamente, representando cada trecho de

barramento incluindo os disjuntores e seccionadores a ele conectados, conforme o arranjo da subestação. A Figura 4 ilustra o detalhamento da Barra #1 em uma subestação exemplo. Neste caso, o arranjo da Barra #1 é do tipo “barra dupla disjuntor simples a quatro chaves” (BD4).

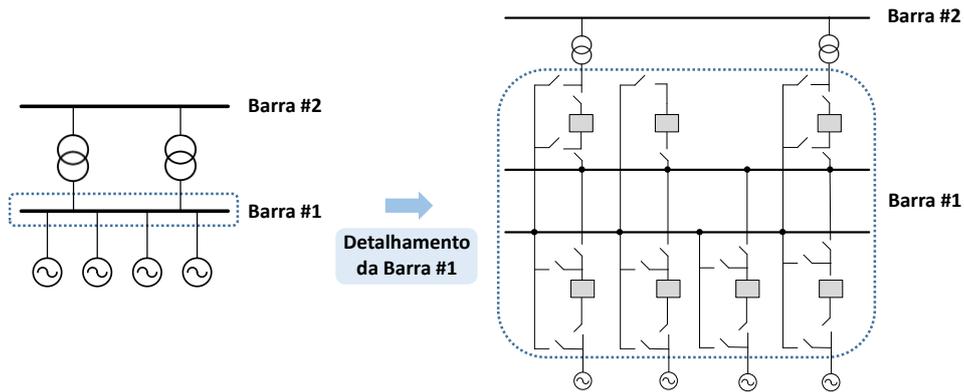


FIGURA 4 – Detalhamento do barramento

Seguindo o fluxograma da Figura 3, utiliza-se o programa de fluxo de potência para calcular o maior fluxo de corrente passante em cada trecho do barramento para as condições de rede completa e rede alterada, ambas com o maior carregamento admissível.

Para o caso de rede alterada, a seleção de contingências é realizada com o intuito de se obter as maiores correntes nos trechos do barramento e equipamentos a ele conectados. Dessa forma, são simuladas as seguintes condições:

- Perda de um componente da subestação (N-1);
- Perda de um componente da subestação, considerando a indisponibilidade de um elemento (N-2).

Se a corrente de carga nos trechos de barramento for igual ou superior à sua corrente nominal, o trecho é considerado superado e deve ser indicado para a troca. Por outro lado, se o equipamento de manobra estiver em sobrecarga, o mesmo será considerado preliminarmente superado e estudos mais detalhados deverão ser realizados para analisar a viabilidade do tempo de sobrecarga suportável pelos equipamentos.

#### 2.2.1. Tempo Admissível para Sobrecarga

A sobrecarga em equipamentos de manobra pode ser dividida em dois tipos: contínua e de curta duração (7). A sobrecarga contínua é definida como qualquer corrente superior à corrente nominal que pode ser conduzida pelo equipamento por um período ilimitado, de forma segura. Em uma operação segura, as temperaturas máximas admissíveis nos materiais do equipamento não podem ser excedidas (8). Por outro lado, a sobrecarga de curta duração é definida como qualquer corrente passante superior à corrente nominal do equipamento, conduzida de forma segura por um curto período de tempo a ser determinado.

O tempo de sobrecarga admissível que não violará os limites máximos de temperatura nos materiais do equipamento é dado por:

$$t_s = -\tau \ln \left[ 1 - \frac{\theta_{max} - \theta_i}{\theta_s - \theta_i} \right] \quad (\text{I})$$

Sendo:

$$\theta_{i,s} = (\theta_{max} - 40^\circ) \left( \frac{I_{i,s}}{I_r} \right)^{1,8} + \theta_a \quad (\text{II})$$

e  $t_s$  é o tempo de duração da sobrecarga de curta duração;  $\tau$  é a constante de tempo térmica do equipamento (8);  $\theta_{max}$  é a temperatura máxima admissível no material (9);  $\theta_i$  é a temperatura inicial do equipamento;  $\theta_s$  é a temperatura final de sobrecarga;  $\theta_a$  é a temperatura ambiente;  $I_i$  é a corrente inicial;  $I_s$  é a corrente de sobrecarga de curta duração; e  $I_r$  é a corrente nominal. A Equação (III) apresenta a temperatura do equipamento ( $\theta_t$ ) em um instante de tempo  $t$  devido à variação de corrente de  $I_i$  para  $I_s$  (10).

$$\theta_t = (\theta_s - \theta_i) \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + \theta_i \quad (\text{III})$$

Os contatos dos equipamentos de manobra são a parte condutora mais delicada e o ponto mais crítico de aquecimento. Por esta razão, as temperaturas nos contatos não podem exceder as máximas temperaturas admissíveis normalizadas (9). Caso contrário, os equipamentos terão suas características alteradas temporariamente ou permanentemente (7).

A análise do tempo de sobrecarga é importante para adiar a substituição de equipamentos de manobra em casos de sobrecarga. Dessa forma, medidas operativas para alívio de sobrecarga, como redespacho da geração e reconfiguração da rede, devem ser tomadas em um tempo menor do que  $t_s$ . Caso o tempo não seja aceitável, deve-se indicar o equipamento para troca.

### 3.0 - CASO DE ESTUDO

O caso de estudo consiste da análise de uma importante subestação, “João Câmara III 500/138 kV”, localizada no estado do Rio Grande do Norte, cujo principal objetivo é a integração das usinas eólicas da região com o Sistema Interligado Nacional. Atualmente, a subestação opera com um potencial eólico nominal de 827 MW, correspondente ao conjunto de unidades geradoras eólicas distribuídas em sete vãos do barramento de 138 kV, conectado ao setor de 500 kV através de dois bancos de autotransformadores de 450 MVA cada.

Considerando a expansão do potencial eólico da região e a entrada de dez novos conjuntos de parques eólicos conectados ao barramento de 138 kV da subestação João Câmara III, totalizando uma potência adicional de 1.090 MW até 2018, três novos bancos de autotransformadores 500/138 kV, de 450 MVA cada, serão necessários para escoar essa potência. A configuração atual e a prevista para 2018 estão representadas na Figura 5.

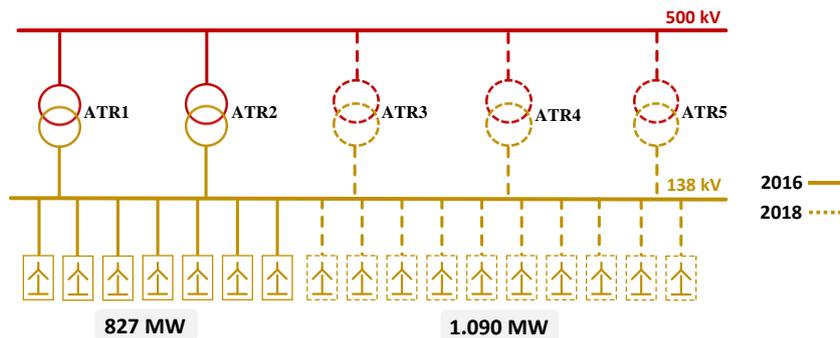


FIGURA 5 – Configuração atual e prevista João Câmara III 500/138 kV

### 4.0 - RESULTADOS

#### 4.1 Estudo de Curto-circuito

A análise de curto-circuito aqui apresentada tem como objetivo avaliar o impacto da conexão de novas unidades geradoras ao barramento de 138 kV da subestação João Câmara III, conforme mostrado na Figura 5. A base de dados utilizada, disponibilizada pelo ONS no horizonte de três anos do Plano de Ampliações e Reforços – PAR, considera todas as unidades geradoras em sua potência nominal e a rede completa com todas as linhas e transformadores em operação. Vale ressaltar, que os geradores eólicos da subestação são compostos por máquinas de indução de dupla alimentação que, do ponto de vista de contribuição para correntes de curto-circuito, se comportam de forma semelhante a geradores síncronos, especialmente no período subtransitório.

O estudo de curto-circuito foi realizado utilizando-se o programa Anafas/Sapre, desenvolvido pelo Cepel (6). Considerando as condições de rede mais severas para o curto-circuito, aplicaram-se faltas monofásicas e trifásicas na barra de 138 kV da subestação e compararam-se as correntes obtidas com a capacidade nominal de interrupção do disjuntor de 40 kA, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise de curto-circuito na configuração esperada

Falta	Corrente [kA]	Corrente [%]
Monofásica	36,53	91
Trifásica	51,41	<b>129</b>

Dos resultados obtidos, observa-se que a falta trifásica foi a mais severa, excedendo em 29% a capacidade nominal do disjuntor. Seguindo a metodologia descrita na Seção 2.1, os disjuntores são considerados preliminarmente superados, havendo a necessidade de analisar detalhadamente a corrente passante em todos os disjuntores dos vãos do barramento de 138 kV da subestação. A análise de *line out*, condição mais severa neste caso, indicou que a corrente em cada disjuntor ficou acima de 40 kA. Os valores da corrente passante variaram entre 118% e 127% da capacidade nominal do disjuntor, indicando que todos os 22 disjuntores do barramento de 138 kV da subestação João Câmara III estariam superados em 2018.

Normalmente, a solução adotada para os casos de superação de equipamentos é a substituição integral dos mesmos por outros com capacidades superiores. Porém, nesse caso, custos elevados relacionados à troca dos disjuntores tornaram essa solução inviável. Dessa forma, avaliou-se a aplicação de medidas mitigadoras para reduzir as correntes de curto-circuito a valores compatíveis aos dos equipamentos existentes.

A solução proposta pelo ONS em conjunto com o proprietário da subestação foi o secionamento do barramento de 138 kV em duas semibarras (A e B), conforme ilustra a Figura 6. O Barramento A apresenta três autotransformadores, de 450 MVA cada, para escoar uma potência total de 1.120 MW e o Barramento B apresenta apenas dois autotransformadores, de 450 MVA cada, para escoar uma potência total de 797 MW.

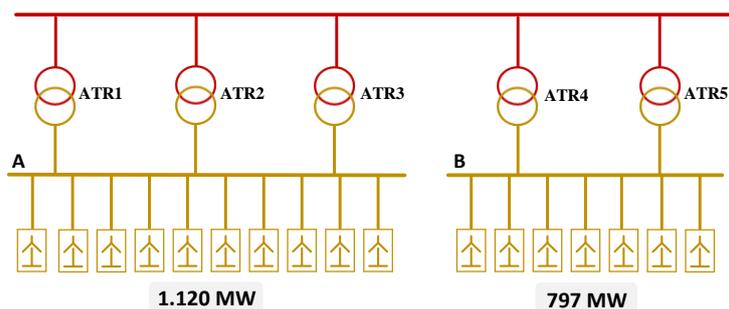


FIGURA 6 – Secionamento do Barramento João Câmara III 138 kV

Após o secionamento proposto, defeitos trifásicos e monofásicos foram aplicados às barras A e B, conforme mostrado na Tabela 3. Nenhum disjuntor de João Câmara III encontra-se superado por corrente de curto-circuito.

Tabela 3 – Análise de curto-circuito com a solução proposta

Barra	Falta	Corrente [kA]	Corrente [%]
A	Monofásica	28,55	71
	Trifásica	37,39	93
B	Monofásica	23,14	58
	Trifásica	29,58	74

#### 4.2 Estudo de Fluxo de Potência

Seguindo a solução proposta na análise de curto-circuito, detalhou-se o secionamento do Barramento de 138 kV, através da representação do arranjo de barra da subestação. Conforme ilustrado na Figura 7, o barramento possui um arranjo barra dupla disjuntor simples a quatro chaves (BD4). O estudo de fluxo de potência foi realizado utilizando-se o programa Anarede, desenvolvido pelo Cepel (11), analisando o fluxo de potência nos trechos do barramento, nos disjuntores e chaves seccionadoras.

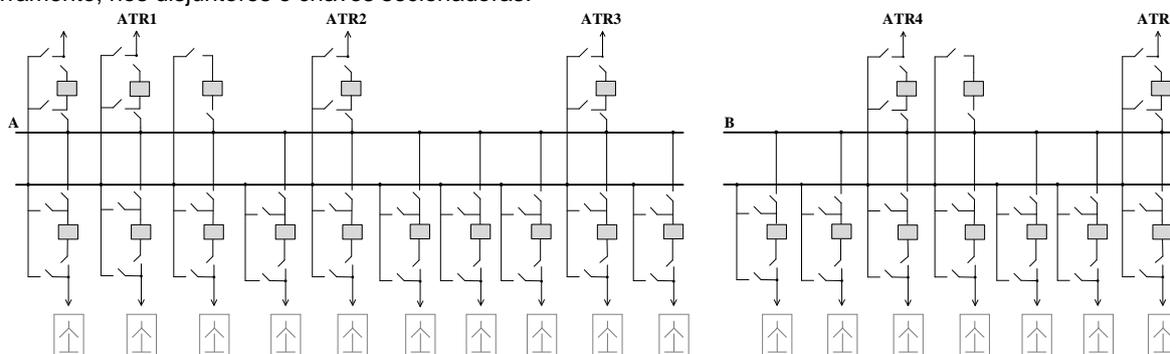


FIGURA 7 – Detalhamento do Barramento de 138 kV

Seguindo a metodologia apresentada na Seção 2.2, foram analisados casos de rede completa e rede alterada. Nos casos de rede alterada, as seguintes contingências foram avaliadas:

- Um autotransformador fora de operação (N-1);
- Disjuntor do vão de um autotransformador em manutenção (N-1);
- Uma Barra do arranjo barra dupla em manutenção (N-1);
- Uma Barra em manutenção e um autotransformador fora de operação (N-2).

##### 4.2.1. Barramento

Inicialmente, foram analisadas as correntes nos trechos do Barramento de 138 kV da subestação João Câmara III. No caso em estudo, o condutor “2xT – Thrasher” é utilizado nas Barras A e B, cuja máxima corrente suportada é 5.612 A. Através dos estudos de fluxo de potência, constatou-se que a maior corrente passante no Barramento A vale 2.858,5 A quando o autotransformador ATR3 está fora de operação. No Barramento B a maior corrente passante vale 2.978,4 A, quando autotransformador ATR4 está fora de operação. Em ambas as situações, as correntes passantes são inferiores à corrente nominal do Barramento de 5.612 A. Desta forma, os barramentos A e B de João Câmara III 138 kV não estão superados por corrente nominal.

#### 4.2.2. Equipamentos de Manobra

Todos os disjuntores do Barramento de 138 kV possuem a capacidade nominal de 3.150 A, as chaves seccionadoras de *by pass* de 2.000 A e as demais de 2.500 A. Dispondo dos valores da corrente nominal passante nos disjuntores e nas chaves seccionadoras para os casos de rede completa e rede alterada, verificou-se que nenhum disjuntor está superado por corrente nominal. Entretanto, chaves seccionadoras de *by pass* apresentaram entre 9% e 10% de sobrecarga para alguns casos de rede alterada.

Tendo em vista que a utilização dos critérios de sobrecarga em disjuntores e seccionadores pode adiar a substituição desses equipamentos superados por corrente nominal, a seguir serão analisados casos de sobrecarga de curta duração nos seccionadores.

#### 4.2.3. Tempo Admissível para Sobrecarga

Em muitas situações, a corrente de sobrecarga pode ser aplicada de forma segura, porém a elevação da temperatura causada pela condução dessa corrente não pode ultrapassar a temperatura máxima admissível nos contatos, para não modificar as características físicas do equipamento (10).

Segundo a IEEE Std: C37.010-1999 (9), a máxima temperatura ambiente normalizada é 40°C. Como normalmente os equipamentos operam a temperaturas ambiente inferiores à máxima normalizada, pode-se adotar correntes superiores à nominal sem que haja perda de vida útil. Para tanto, faz-se necessário o cálculo do período máximo de sobrecarga admissível, a partir de uma corrente inicial, em uma determinada temperatura ambiente.

Segundo dados climatológicos da região de João Câmara (12), a máxima temperatura ambiente e a média das temperaturas ao longo do ano são de 30,5°C e 24,7°C, respectivamente. Dessa forma, o tempo admissível de sobrecarga será calculado para as temperaturas de 24,7°C, 30,5°C e 40°C.

A constante de tempo térmica do equipamento,  $\tau$  em (I), e a temperatura máxima admissível no material,  $\theta_{max}$  em (I) e (II), estão listadas na referência (9) com os seguintes valores: 30 minutos e 105°C.

A Tabela 4 apresenta o tempo máximo admissível de sobrecarga considerando as temperaturas ambiente de 40°C, 30,5°C e 24,7°C. Também são mostrados os valores temperatura inicial ( $\theta_i$ ), temperatura de sobrecarga ( $\theta_s$ ), corrente inicial ( $I_i$ ), corrente de sobrecarga ( $I_s$ ) e corrente nominal ( $I_r$ ) das chaves seccionadoras de *by pass*. Esses resultados são referentes ao pior cenário, quando o autotransformador ATR4 está fora de operação.

Tabela 4 – Tempo máximo admissível de sobrecarga

Dados	Temperatura Ambiente		
	40,0°C	30,5°C	24,7°C
$\theta_i$ [°C]	83,15	73,65	67,85
$\theta_s$ [°C]	117,43	107,93	102,13
$I_i$ [A]	1.592,80	1.592,80	1.592,80
$I_s$ [A]	2.204,19	2.204,19	2.204,19
$I_r$ [A]	2.000,00	2.000,00	2.000,00
$t_s$ [min]	<b>30,44</b>	<b>73,79</b>	$\infty$

Como esperado, o tempo máximo admissível de sobrecarga é maior para temperaturas ambiente menores. Para a temperatura ambiente de 30,5°C (40°C), o operador teria 73,79 (30,44) minutos para aliviar a sobrecarga através de medidas operativas. Conseqüentemente, a substituição das chaves seccionadoras poderia ser adiada.

Para a temperatura ambiente de 24,7°C, não há tempo limite segundo o método utilizado (10), ou seja, a chave seccionadora suporta, nessas condições, a sobrecarga permanente sem atingir a temperatura máxima admissível nos contatos.

A Figura 8 (a) ilustra o processo de estabilização da temperatura em função da relação  $t/\tau$ , segundo (III), para as três temperaturas ambiente distintas. O instante inicial refere-se ao instante no qual o equipamento começa a conduzir a corrente de sobrecarga. A temperatura máxima admissível nos contatos (105°C) está indicada no gráfico. Observa-se que quanto menor a temperatura ambiente, menor a temperatura de estabilização. Para a temperatura ambiente de 24,7°C, a temperatura nos contatos se estabiliza em 102°C, abaixo ao limite.

Variando a corrente de sobrecarga, pode-se observar a resposta da temperatura de sobrecarga para as três temperaturas ambiente adotadas, conforme mostra a Figura 8 b). Quanto menor a temperatura ambiente, maior será a sobrecarga admissível de curta duração. Para a máxima temperatura ambiente normalizada de 40°C, a temperatura máxima admissível nos contatos de 105°C é atingida para a corrente nominal da chave seccionadora de 2.000 A. Para a temperatura ambiente de 30,5°C (24,7°C), esse valor aumenta para 2.150 A (2.250 A). Portanto, ao diminuir a temperatura ambiente, tem-se uma margem de sobrecarga até atingir o limite de temperatura admissível nos contatos (105°C).

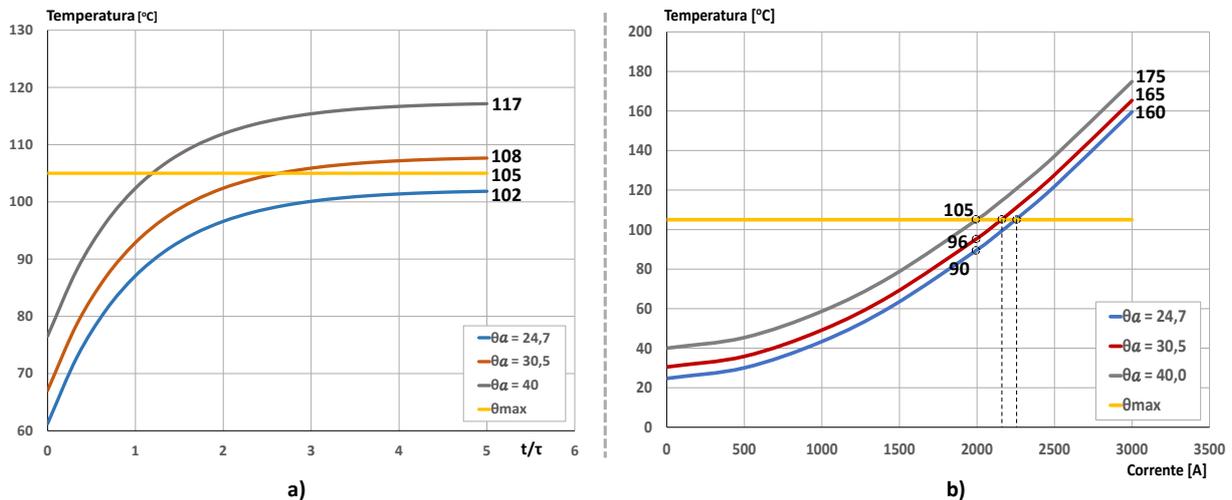


FIGURA 8 – Processo de Estabilização da Temperatura (a) e Resposta da Temperatura de Sobrecarga (b)

## 5.0 - CONCLUSÃO

No Brasil, leilões de fontes alternativas de energia foram criados para incentivar a diversificação da matriz energética. Incentivos do governo para a expansão e integração de fontes renováveis aos sistemas de energia elétrica levaram a um crescimento extraordinário de parques eólicos na região Nordeste do Brasil. Entretanto, em muitas situações, as instalações existentes não estão preparadas para incorporar o montante de energia leiloada, resultando em graves problemas de superação de barramentos e equipamentos de alta tensão.

O presente trabalho apresentou a metodologia de análise de superação em instalações de alta tensão com ênfase em estudos de superação por corrente de curto-circuito simétrica e por corrente de carga. A metodologia apresentada foi aplicada a uma importante subestação “João Câmara III 500/138 kV” do Sistema Interligado Nacional que, até 2018, terá um montante de 1.92GW de geração eólica.

Estudos de curto-circuito e fluxo de potência foram realizados para analisar a influência da inserção dos novos parques eólicos ao barramento de 138 kV da subestação estudada, observando os limites de suportabilidade nominais dos equipamentos e instalações já existentes, levando em consideração a metodologia apresentada e as diretrizes utilizadas pelo ONS.

Dos resultados obtidos, disjuntores e chaves seccionadoras apresentaram superação por corrente de curto-circuito e sobrecarga, respectivamente. De forma a preservar a integridade do sistema, a superação causada por corrente de curto-circuito foi eliminada através do seccionamento do Barramento de 138 kV em duas semibarras, evitando a substituição de 22 disjuntores, porém reduzindo a flexibilidade operativa da subestação. Nos casos de sobrecarga, uma análise detalhada do tempo máximo admissível nos contatos das chaves seccionadoras foi realizada, propondo a adoção de medidas operativas para contornar o problema de superação e postergar a substituição de equipamentos.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Global Wind Energy Council, “Global wind report:Annual market update 2014” [Online]. Disponível em: <http://goo.gl/AtsR5V>. Acesso em Abril de 2016
- (2) L. E. Jones, “Renewable energy integration: Practical management of variability, uncertainty, and flexibility in power grids”, Academic Press, Elsevier Inc., 2014
- (3) ONS – Critérios para Análise de Superação de Equipamentos e Instalações de Alta Tensão, Novembro 2014.
- (4) ONS – Relatórios de Análise de Superação de Equipamentos, 2010-2015.
- (5) ONS – Procedimentos de Rede – Módulo 11- Submódulo 11.3 – Estudos de curto-circuito, Agosto 2009.
- (6) CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, ANAFAS – Análise de Faltas, Manual do Usuário, V 6.5.1, Março 2014.
- (7) Carvalho, A.C., Figueiredo, D.D., Gueratto, E.J., Asano, M., Garcia, G., Almeida, J.B., Fuchs, A., Puente, A.P., França, W.J. – “Aplicação de Sobrecarga em Disjuntores e Seccionadores”, IX SNPTEE, Belo Horizonte, 1987.
- (8) ANSI, IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis, C37.010-1979.
- (9) ABNT, Especificações Comuns para Normas de Equipamentos de Manobra de Alta Tensão e Mecanismos de Comando, NBR IEC 60692:2006.
- (10) ANSI, IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis, C37.010-1979.
- (11) CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, ANAREDE – Programa de Análises de Rede, Manual do Usuário, V 10.00.01, Novembro 2013.
- (12) Climate-Data.Org. Disponível em: <http://pt.climate-data.org/location/42647/>. Acesso em 07/11/2015.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Rebecca Laginestra Sinder** nasceu em Nova Friburgo, Brasil, em 1991. Graduiu-se em Engenharia Elétrica em 2016 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Entre 2012 e 2013 realizou um ano de estudos na Polytech'Orléans, França, como parte do programa BRAFITEC na modalidade graduação sanduíche como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, Brasil. Atualmente é aluna de mestrado do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro, na área de Sistema de Energia Elétrica.



**Tatiana Mariano Lessa Assis** nasceu no Rio de Janeiro, em 1975. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (1998), Mestrado (2000) e Doutorado (2007) em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. Realizou pós-doutorado no Imperial College London (2015) e atualmente é professora da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de planejamento da operação de sistemas interligados, dinâmica e controle de sistemas de potência. Atua como voluntária do IEEE desde 2010 e atualmente é presidente da Seção Rio de Janeiro e editora do IEEE Transactions on Sustainable Energy. É Senior Member do IEEE.



**Andréia Maia Monteiro** nasceu no Rio de Janeiro, em 1970. Graduiu-se em Engenharia Elétrica em 2000 pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Em 2005, concluiu o mestrado em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. Desde 2000, trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), sendo atualmente engenheira sênior na Gerência de Engenharia de Instalações da Transmissão. Tem experiência no planejamento e operação de sistemas de potência, atuando principalmente na simulação e análise de transitórios eletromagnéticos, estudos de superação de equipamentos e qualidade de energia. É membro do CIGRÉ, onde atualmente ocupa a função de secretária do Comitê de Estudos do A3 - Equipamentos de Alta Tensão no Brasil.



**Antonio Carlos Cavalcanti de Carvalho** nasceu no Rio de Janeiro, em 1956. Graduiu-se em Engenharia Elétrica em 1978 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Em 1984, concluiu o mestrado em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. É membro do CIGRÉ, sendo atualmente coordenador do Comitê de Estudos do A3 – Equipamentos de Alta Tensão no Brasil. Trabalhou no laboratório de pesquisa do CEPEL por 13 anos e em desenvolvimento de equipamentos na ABB da Suíça por 12 anos, tornando-se especialista em estudos que envolvem iteração equipamentos-rede. Atualmente ocupa a Gerência Executiva de Ampliações e Engenharia de Instalações da Transmissão no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).