

# **BARRAS TIPO “ROEBEL” PARA ESTADOR DE GERADOR**

Complexo Energético Fundão Santa Clara - CEFSC

## **ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA**

Barras Novas

<b>Elaborado por:</b>	<b>Data</b>	<b>Revisão</b>
ELEJOR – Emerson Luís Alberti – CREA 25.767-D/PR	29/09/2020	R00

## **TABELAS**

Tabela 1 - Quantitativos de Barras Novas..... 6

## **DESENHOS**

Desenho 1 – Barra do Enrolamento do Estator ..... 14  
Desenho 2 - Enrolamento do Estator e Terminais..... 15  
Desenho 3 - Enrolamento do Estator e Terminais - Detalhes ..... 16  
Desenho 4 - Elementos de Pressão (Calços e Cunhas) ..... 17

## EXPEDIENTE

Exemplares desta publicação podem ser obtidos na:

Elejor – Centrais Elétricas do Rio Jordão S.A.  
Rua José de Alencar, 2021  
CEP: 80.040.070  
Curitiba/PR.  
[www.elejour.com.br](http://www.elejour.com.br)

<b>Tipo do Documento:</b>	Especificação Técnica	
<b>Título:</b>	Especificação Técnica de Barras tipo “Roebel”	
<b>Área</b>	Energia	
<b>Autores:</b>	Emerson Luís Alberti	
<b>Revisão/Layout:</b>	Emerson Luís Alberti	

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

## SUMÁRIO

1.	O EMPREENDIMENTO: .....	5
2.	OBJETO .....	6
	2.1 - Escopo Geral de Fornecimento:.....	6
3.	CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DOS GERADORES: .....	6
	3.1 - Valores Nominais .....	6
	3.2 - Dados básicos da barra .....	7
4.	ENROLAMENTO DO ESTATOR .....	7
5.	HOMOLOGAÇÃO - PROTÓTIPO .....	8
	5.1 - Quantidade da amostra.....	8
	5.2 - Materiais: .....	9
	5.3 - Ensaios .....	9
6.	ENSAIOS DE FABRICAÇÃO DAS BARRAS VERDES .....	10
	6.1 - Fabricação do Sistema de Isolamento da Barra Verde .....	11
7.	ACABAMENTO, EMBALAGEM E DOCUMENTAÇÃO .....	12
	7.1 - Acabamento .....	12
	7.2 - Embalagem .....	12
	7.3 - Documentação .....	12
8.	DESENHOS .....	13

## 1. O EMPREENDIMENTO:

**ELEJOR – Centrais Elétricas do Rio Jordão S.A.** é uma sociedade de propósito específico criada para explorar o Complexo Energético Fundão Santa Clara - CEFSC, cujo complexo é formado pelas Usinas Hidrelétricas Santa Clara e Fundão, ambas localizadas no rio Jordão, que entraram em operação em 2005 e 2006 respectivamente.

A UHE/Santa Clara está localizada entre os municípios de Candói e Pinhão, com casa de força nas coordenadas 23°40'03"S e 51°58'02"O, tem potência de 120 MW, além de uma PCH com potência de 3,60 MW. O acesso a usina é feito pela rodovia BR-373, km 394 e deste ponto, a 8 km pela rodovia PR-560 localiza-se a casa de força.

A UHE/Fundão está localizada, entre os municípios de Pinhão e Foz do Jordão, com casa de força nas coordenadas 23°48'16"S e 52°02'18"O a jusante da UHE/Santa Clara, tem potência de 120 MW, além de uma Pequena Central Hidrelétrica – PCH com potência de 2,50 MW. O acesso a usina é feito pela rodovia BR-373, km 404 e deste ponto, em estrada secundária a aproximadamente 12 km localiza-se a casa de força.

A distância em linha reta entre as duas barragens é de 7.800 m e entre as duas casas de forças é de 9.300 metros, porém sem acesso rodoviária entre as mesmas, a não se pela rodovia BR-373. A mapa abaixo mostra a representação de forma simplificado a localização das duas usinas, compreendendo barragens, câmaras de carga, tomadas d'água de baixa pressão, subestações, túneis e casas de forças.

Figura 1 - Posição das Usinas Hidrelétricas da ELEJOR no rio Jordão



## 2. OBJETO

Esta especificação técnica é para delinear o escopo do fornecimento de barras novas para as Unidades Geradoras do Complexo Energético Fundão Santa Clara – CEFSC. O fornecimento deve atender integralmente o conceito desta Especificação Técnica (ET) e o fornecimento será homologado somente depois de aprovados todos os desenhos propostos pelo fornecedor e os solicitados pela ELEJOR.

### 2.1 - Escopo Geral de Fornecimento:

Esta licitação abrange o fornecimento de barras estatóricas novas do tipo Roebel, fabricadas a partir de “green bar” ou “barras verdes”, conforme Tabela 1, abaixo:

Tabela 1 - Quantitativos de Barras Novas

Descrição		Quantidades	Desenhos
Barra de Topo	Ponta Curva	22	1, 2, 3 e 4
	Ponta Reta	2	
Barra de Fundo	Saída para Barramento	2	
	Ponta Curva	8	
	Ponta Reta	4	
<b>TOTAL DE BARRAS</b>		<b>38</b>	

## 3. CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DOS GERADORES:

### 3.1 - Valores Nominais:

- Potência nominal contínua: 66.760 kVA;
- Tensão nominal: 13,8 kV;
- Faixa de variação da tensão: +5/-10 %;
- Fator de potência: 0,90 indutivo;
- Frequência nominal: 60 Hz;
- Elevação de temperatura, considerando o ar frio de 40 °C;

- Enrolamento do estator (RTD mais quente): 80 °C;
  - Enrolamento do rotor (medida por resistência): 80 °C;
  - Temperatura do núcleo do estator (ponto mais quente): 65 °C;
- Rotação nominal: 257,14 rpm;
- Classe térmica de isolamento do estator: F (155 °C).

### 3.2 - Dados básicos da barra:

- Altura do núcleo: 1.080 mm
- Altura do dedo de pressão:  $63 \pm 1$  mm
- Comprimento da barra: 1.921,8 mm
- Comprimento da OCP (Outer Corona Protection): 1.226 mm
- Comprimento da ECP (Endwinding Corona Protection): > 150 mm
- Sobreposição (luva) da OCP/ECP: 20 mm a 30 mm
- Dimensão externa da barra original: 71,6 x 26,7 mm
- Dimensão externa da barra reserva conforme sobressalentes adquiridos em 2013:  
71,2 x 26,5 mm

## 4. ENROLAMENTO DO ESTATOR

O enrolamento do estator foi projetado para ligação em estrela com o neutro aterrado através de transformador de distribuição. O enrolamento foi projetado visando minimizar perdas por aquecimento. Cada barra do gerador foi constituída com agrupamento de condutores isolados denominada de barra verde (“*green bar*”). Os condutores elementares isolados de cada barra verde são de cobre eletrolítico recozido, de seção transversal, com cantos arredondados, sem imperfeições e asperezas. Os mesmos, são transpostos na parte reta da barra verde pelo método "ROEBEL". A transposição deve seguir rigorosamente a mesma da barra original.

Todas as barras devem ter marcas permanentes de identificação, elas devem ser pré-formadas e plenamente intercambiáveis. As barras de enrolamento do estator são rígidas, com isolamento autoextinguível à chama, termofixo à base de epoxi ou equivalente, o isolamento é tal que previne danos devido à exposição ao ambiente e à umidade e que

satisfazem os requisitos da norma ANSI C50.10 e da Publicação, NEMA MG 1, IEC 60034-1:2017 e IEC 60085:2007 para sistema de isolamento classe térmica “F” (155 °C).

As conexões série entre barras são adequadamente fixadas, submetidas a brasagem e isoladas, de modo a proporcionar juntas mecanicamente robustas e de baixíssima resistência elétrica, sem sinais de aquecimento.

O condutor de cobre que forma a barra verde do enrolamento do estator deve ser de cobre eletrolítico de 99,90 % (C11000 ou equivalente) de pureza (ASTM designação 85-43 ou equivalente) com teor de oxigênio na faixa de 0,02 a 0,04 %.

O sistema de isolamento da parede principal poderá ser fabricado pelo processo "single VPI" ou "Resin Rich", conforme o necessário para garantir uma estrutura isolante sólida e rígida, livre de vazios e bolhas de ar entre camadas de mica e proporcionando alta suportabilidade a tensão, baixíssimo nível de descargas parciais.

Os trechos de barras inseridos nas ranhuras são acabados com um revestimento de composto condutivo - OCP, estendendo-se até 10 mm a 15 mm acima da altura do dedo de pressão. Temos ainda o revestimento semicondutivo - ECP (grading) que sobrepõe sobre a OCP (luva) por 20 mm a 30 mm e estende-se por cerca de 150 mm no sentido do terminal.

## **5. HOMOLOGAÇÃO - PROTÓTIPO**

Este processo tem o objetivo de garantir/assegurar que o sistema de isolamento projetado atende às necessidades requeridas. Após o sistema de isolamento ser aprovado pela ELEJOR nos ensaios de homologação, a CONTRATADA estará liberada para iniciar a produção das barras.

### **5.1 - Quantidade da amostra.**

A homologação deverá ser realizada em quatro (4) barras de topo (superior) novas fabricadas neste processo.

## 5.2 - Materiais:

Deve ser apresentada a documentação (certificado e datasheet) dos seguintes materiais.

- 5.2.1 - Condutor de cobre e seu isolamento;
- 5.2.2 - Isolamento na transposição Roebel;
- 5.2.3 - Massa de enchimento (tipo Mastic) na transposição Roebel;
- 5.2.4 - Fita de mica do isolamento principal;
- 5.2.5 - Fita de OCP;
- 5.2.6 - Fita do ECP.
- 5.2.7 - Revestimento do OCP;
- 5.2.8 - Revestimento do ECP.

## 5.3 - Ensaios

Seguir todas as inspeções, verificações e ensaios desta etapa.

### 5.3.1 - Barra verde ou “green bar” – sem isolamento:

- a) Inspeção Visual nos condutores isolados;
- b) Dimensional do condutor isolado (largura, altura e raio);
- c) Inspeccionar a transposição Roebel;
- d) Dimensional da barra verde na parte reta e após consolidada (largura e altura);
- e) Teste de Isolamento entre os condutores, 127 ou 220 Vca, 3 segundos.

### 5.3.2 - Barra Isolada;

- a) Controle dimensional da barra isolada.  
Verificar com gabarito passa ou não passa.
- b) Tensão aplicada Vca na parte reta de  $4*U$ , 55,20 kV por 1 minuto.  
Normas: NEMA MG1, IEEE C50.12 e 13, IEC 60034-1.
- c) Tensão aplicada Vca na cabeça da barra de  $2,5*U$ , 34,5 kV por 10 segundos.  
Normas: NEMA MG1, IEEE C50.12 e 13, IEC 60034-1.
- d) Dimensional do OCP e ECP conforme desenho aprovado.  
Conferir com o desenho aprovado.
- e) Medição da OCP, deve ser entre 0,50 a 1,2 k $\Omega$ /□.

Medir com ponta de prova em toda a extensão da barra.

- f) Teste de corona, não pode apresentar corona com tensão  $\leq 13,8$  kV.

Normas: IEEE 1434, blackout test ou Camara UV.

- g) Medição de descargas parciais na tensão de 8 kV:  $\leq 50$  mV ou 100 pC

Normas: IEC 60270, IEC 60034-27, IEEE 1434.

- h) Medição de PDIV - Partial Discharge Inception Voltage:  $\leq 13,8$  kV.

Normas: IEC 60270, IEC 60034-27, IEEE 1434.

- i) Perdas dielétricas de 0,2U a 1,2U a 60 Hz.

$\tan \delta$  a 0,2U  $\leq 1,5$  %;

Tip up =  $(\tan \delta 0,6U - \tan \delta 0,2U)/2 \leq 0,10$  %;

$\Delta \tan \delta 0,2U \leq 0,15$  % (em todos os degraus);

Normas: EN 50209, ex-VDE 530.

- j) VET - Voltage Endurance Test

Tensão de  $4*U_n$ , 32 kV;

Temperatura de 120 °C;

Sistema de OCP deve suportar sem retoque  $\geq 100$  horas;

A primeira barra pode falhar com  $\geq 250$  horas;

As demais (3) devem suportar  $\geq 400$  horas;

Normas: IEEE 1043 e 1553.

- k) Tensão aplicada Vca - breakdown

As barras que passaram pelo VET devem ser submetidas a tensão aplicada Vca a taxa de 1 kV/segundo até falhar, deve suportar no mínimo 35 kV.

- l) Medir a capacitância a  $U_n$ , 8 kV.

Normas: EN 50209, ex-VDE 530.

- m) Medir a resistência de Isolamento e Índice de Polarização.

Normas: IEEE 043:2013

Observação:

U = Tensão de fase (entre fases), 13,8 kV.

$U_n$  = Tensão fase - terra, 7,97 kV.

## 6. ENSAIOS DE FABRICAÇÃO DAS BARRAS VERDES

6.1 - Barra verde ou “green bar” – sem isolamento.

As mesmas etapas do item 5.3.1

6.2 - Fabricação do Sistema de Isolamento da Barra Verde

6.2.1 - Controle dimensional da barra isolada

Conforme desenho aprovado.

6.2.2 - Tensão aplicada Vca na parte reta de 3\*U equivalente a 41,40 kV por 1 minuto.

Normas: NEMA MG1, IEEE C50.12 e 13, IEC 60034-1.

6.2.3 - Tensão aplicada Vca na cabeça da barra de 2,0\*U equivalente a 27,6 kV por 10 segundos.

Normas: NEMA MG1, IEEE C50.12 e 13, IEC 60034-1.

6.2.4 - Dimensional do OCP e ECP.

Conforme desenho aprovado.

6.2.5 - Medição da OCP, deve ser entre 0,50 a 1,2 k $\Omega$ / $\square$ .

Medir com ponta de prova em toda a extensão da barra.

6.2.6 - Medir com ponta de prova em toda a extensão da barra.

6.2.7 - Teste de corona, não pode ter corona com tensão  $\leq$  13,8 kV.

Normas: IEEE 1434, blackout test ou Camara UV.

6.2.8 - Medição de descargas parciais na tensão de 8 kV:  $\leq$  50 mV ou 100 pC.

Normas: IEC 60270, IEC 60034-27, IEEE 1434.

6.2.9 - Medição de PDIV - *Partial Discharge Inception Voltage*:  $\leq$  13,8 kV.

Normas: IEC 60270, IEC 60034-27, IEEE 1434.

6.2.10 - Perdas dielétricas de 0,2U a 1,2U a 60 Hz:

- a)  $\tan \delta$  a 0,2U  $\leq 1,5 \%$ ;
- b) Tip up =  $(\tan \delta 0,6U - \tan \delta 0,2U)/2 \leq 0,10 \%$ ;
- c)  $\Delta \tan \delta 0,2U \leq 0,15 \%$  (em todos os degraus);
- d) Normas: EN 50209 e ex-VDE 530.

6.2.11 - Mediar a capacitância a Un, 8 kV.

Normas: EN 50209 e ex-VDE 530.

6.2.12 - Medir a resistência de Isolamento e Índice de Polarização.

Normas: IEEE 043:2013.

6.2.13 - Outros testes sugeridos pelo fornecedor.

## **7. ACABAMENTO, EMBALAGEM E DOCUMENTAÇÃO**

### 7.1 - Acabamento

A superfície da OCP e ECP e o restante da cabeça (end arm) deve ser perfeitamente lisa, livre de arestas e pontos saliente e sem manchas.

As barras de ligação série, nos pontos de brasagem devem estar perfeitamente acabada, prateada e com a face de conexão horizontal, de forma que em contato com a outra barra, as faces deve ter contatos no mínimo de 80 % da área da face.

### 7.2 - Embalagem

Todas as barras devem estar identificadas e inclusive se de fundo ou topo.

As barras devem ser envelopadas de forma que não seja contaminada por poeiras ou umidade.

### 7.3 - Documentação

Devem ser fornecidos os documentos:

#### 7.3.1 - Desenhos

Todos os desenhos que envolvem dimensional ou detalhes da barra, inclusive da transposição Roebel.

Não existem desenhos detalhados dos 5 tipos de barras, eles devem ser levantados e elaborados, nos locais em que a Elejor disponibilizar as amostras na usina.

#### 7.3.2 - Databook

Databook com dados individuais de cada barra (nova e reisolada) de todos os ensaios realizados durante a fabricação e os ensaios finais, assim tendo a rastreabilidade de todo o processo.

#### 7.3.3 - Material

A relação dos materiais aplicados com certificados e datasheet,

## 8. DESENHOS







