

## **INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E CORRENTE DE TRABALHO, NAS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E MECÂNICAS DO COBRE ELETROLÍTICO – ETP C110, TÊMPERA MEIO-DURO**

**Sérgio Martins Barcelos<sup>1</sup>**

**Fábio Peruch<sup>2</sup>**

**Jaime Álvares Spim Jr.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Faculdade SATC – sergio\_barcelos@yahoo.com.br – Rua Pascoal Meller, 73 – CEP 88.805-380 – CP 362 – Criciúma – SC – Brasil.

<sup>2</sup>Faculdade SATC, Engenharia Mecânica – fabio.peruch@satc.edu.br – Rua Pascoal Meller, 73 – CEP 88.805-380 – CP 362 – Criciúma – SC – Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Laboratório de Fundação – LAFUN. – spim@ufrgs.br – Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970 / Caixa Postal 15.021 Porto Alegre - RS – Brasil.

**Resumo:** *Este trabalho tem por objetivo apontar os resultados das análises realizadas sobre os efeitos da temperatura inferida pela corrente elétrica circulante em padrões da NBR5471/1986 de fios de cobre eletrolíticos – ETP C110 têmpera meio-duro, seção circular, 101%IACS, utilizados em linhas de distribuição de energia elétrica. As amostras, originadas de produto, “in natura” foram caracterizados, em fio de cobre nu rígido de diâmetro de 4,515mm ( $\approx 16,00\text{mm}^2$ ). Utilizando-se dispositivo gerador de corrente elétrica, produziu-se intensidade da mesma para cada espécime; cinco amostras foram caracterizadas, sendo respectivamente, à 143 Ampere (A) (capacidade nominal do fio), 214,5A, 286A, 400A e 700A; cada qual denotando eventos<sup>1</sup> possíveis na rede elétrica com duração de tempo específico, sendo efetuado o monitoramento do gradiente de temperatura, com variação individualmente desde a temperatura ambiente até limite de recozimento à 378°C, obtendo-se como resultado estruturas de material recristalizado, bem como produtos com recozimento severo. Inicialmente foi investigada a composição química percentual do material, encruado pelo processo de trefilação do cobre puro ETP; posteriormente efetuou-se também investigação na tração unidirecional e obtenção da estrutura metalográfica de todas as amostras, bem como a resistividade/condutibilidade de ambas. Torna-se perceptível para cada amostra características próprias adquiridas na variação de temperatura com o acréscimo da corrente; o acréscimo da resistividade elétrica à cerca de 0,65% a cada 1°C aferido referencia os efeitos da energia de atuação vibracional; através dos ensaios efetuados é possível apontar-se quais amostras concentram condições de uso adequado no âmbito de aplicação, evidenciando para algumas depreciações no comportamento de rotina e conseqüentemente, perda na capacidade operativa.*

**Palavras chaves:** *cobre ETP, propriedades mecânicas, recozimento e resistividade.*

### **1. INTRODUÇÃO**

O comportamento pontual das características físicas de metais condutores em ocorrências de variação de temperatura demonstra, para muitos deles, alterações em suas estruturas constitutivas, e conseqüente, alternâncias no comportamento de condutibilidade e resistência à tração.

O cobre, enquanto elemento percentualmente livre de impurezas, apresenta propriedades intrínsecas que o credenciam à aplicação sistemática em condutores de energia elétrica, independente do nível de tensão elétrica sob utilização, no formato de produtos trefilados. Contudo, a exposição do cobre a correntes elétricas, com valores significativos acima das condições nominais de funcionamento, e dependendo do tempo de exposição, produz acentuada variação na temperatura do material e pode alterar significativamente seu comportamento e estrutura cristalográfica.

Concessionárias de fornecimento de energia elétrica sofrem com eventuais descaracterizações do cobre ao longo de suas linhas de distribuição em razão da variação do valor de corrente elétrica circulante, que podem variar de alguns poucos à centenas ou milhares de Amper, quando da ocorrência de um curto-circuito. Essa descaracterização produz efeitos indesejáveis na estruturação das referidas linhas, ou seja, para linhas com espaçamento horizontal pode ocorrer a

<sup>1</sup> - eventos: operacionalização em condição nominal (normal), sobrecarga e curto-circuitos.

dilatação dos condutores até atingir alturas críticas para a segurança dos transeuntes, já nos espaçamentos verticais fatalmente ocorrerá o entrelaçamento entre a fiação e conseqüente curto-circuito, podendo ainda acarretar o rompimento dos condutores.

O presente trabalho descreve a investigação, fundamentando-se em condições nominais e de intensidades de corrente elétrica circulante acima destes valores, bem como no regime de exposição, observando-se assim as temperaturas apresentadas. As características observadas denotam propriedades do cobre ETP, trefilado, meio-duro, assim como também deste mesmo material desde a recristalização até o recozimento.

## 2. ESTADO DA ARTE

A partir da intensidade de características de um átomo de cobre como, a Densidade (d) igual a  $8,94\text{g/cm}^3$ , a Massa Molar (M) sendo  $63,55\text{g/mol}$ , e sabendo-se que o número de Avogrado ( $N_A$ ) é  $6,023 \times 10^{23}$  átomos/mol, aplicado em Callister, 2005, pode-se calcular a quantidade de elétrons livres por unidade de volume, como sendo:

$$\text{Átomo / massa} = \frac{N_A}{\text{Massa Molar}}, \text{ então: } \text{Átomo / massa} = \frac{6,023 \times 10^{23} \text{ átomos / mol}}{63,55 \text{ g / mol}}$$

$$\text{Átomo / massa} = 9,477 \times 10^{21} \text{ átomo / g} \quad \text{eq. (1),}$$

Fazendo-se a expressão recíproca de “d”, teremos:

$$\text{Para cada g} = 1,1185 \times 10^{-1} \text{cm}^3 \quad \text{eq. (2);}$$

Aplicando-se a equação (2) na equação (1) tem-se:

$$\text{Átomo / Volume} = \frac{9,477 \times 10^{21} \text{ átomos}}{1,118 \times 10^{-1} \text{ cm}^3}; \text{ e...} \quad \text{eq. (3);}$$

...segundo Peralta, 1995, cada átomo de cobre disponibiliza à rede cristalográfica em média um elétron livre; assim pode-se inferir que em cada  $\text{cm}^3$  de material de cobre tem-se  $8,476 \times 10^{22}$  elétrons livres.

O cobre ETP apresenta propriedades importantes quanto a condução elétrica, onde um percentual da quantidade de elétrons livres, inicialmente dispersos no material a velocidade proporcional e desordenados orientam-se a partir da aplicação de uma força eletromotriz, no caso a diferença de potencial – ddp, entre dois pontos, fazendo-os realizar o deslocamento, agora, ordenado e sequencial ao longo do circuito conectado, com intensidade diretamente proporcional à carga elétrica concentrada no mesmo, em direção oposta ao campo elétrico a qual o deslocou; emergindo assim os conceitos de intensidade de corrente elétrica, haja vista que tem-se para cada elétron o valor de carga elementar (e-) igual a  $-1,602 \times 10^{-19}$  Coulomb. Desta forma ocorre a implicação de proporcionalidade da seção transversal e da intensidade de corrente elétrica no condutor de cobre, já que num fio de maior diâmetro há um incremento na quantidade de elétrons livres deslocados.

Segundo Callister, 2005, no processo de sequente deslocamento dos elétrons livres, em razão da sua aceleração proposta pelo campo elétrico, ocorre o espalhamento dos elétrons livres por entre as imperfeições da estrutura cristalina (impurezas, lacunas, interstícios ou discordâncias) surgindo assim uma “força de atrito”, produzindo a perda de energia do elétron e conseqüente desorientação de alguns desses. Esse fato intensifica a agitação térmica dos átomos, propondo conceitos de dificuldade ao fluxo dos elétrons, acentuando os efeitos da resistividade elétrica mostrados na fig. (1); sabendo-se que o quão intenso é a quantidade de elétrons livres, maior será o atrito na rede cristalográfica, resultando no incremento da vibração da rede e conseqüente sobre-aquecimento do material; por conseguinte, surge um importante princípio na eletricidade, conhecido como efeito Joule, onde há a transformação de energia elétrica em energia térmica durante a passagem da corrente elétrica no condutor metálico.

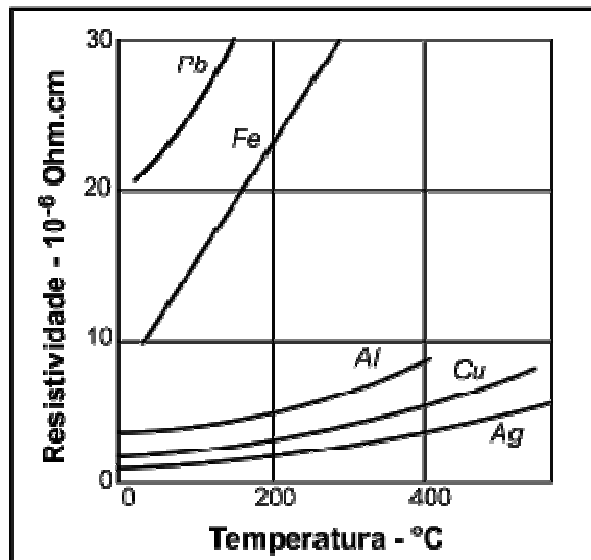


Figura 1 – Comportamento da Resistividade com variação da temperatura [Van Vlack, 1970]

Adicionalmente ao conceito de resistividade -  $\rho$  dos materiais tem-se como seu recíproco a condutividade -  $\sigma$  ( $\sigma = 1/\rho$ ), sendo esse um aspecto muito importante no estudo deste trabalho, pela variabilidade da mesma em condições de aplicação de corrente de trabalho. Portanto é de conhecimento nosso que cada condutor, dimensionado pela sua seção circular transversal, possibilita o fluxo de intensidade de corrente limitada; sendo denominado de capacidade máxima de condução, conforme Celesc, 2002.

Segundo Fernández, 2004, através da fig. (2), a impureza de alguns elementos no composto do cobre, implicam diretamente na condutividade elétrica. Sendo a condutividade expressa pelo percentual do Padrão Internacional para Cobre Recozido (IACS – International Annealed Copper Standard)<sup>2</sup>.

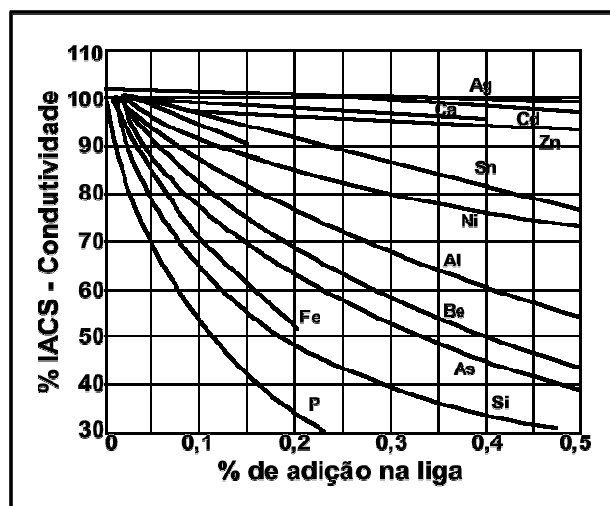


Figura 2 – Efeito das impurezas na condutividade do cobre

O cobre Eletrolítico ETP (Electrolytic Tough Pitch), é produto da eletrólise catódica resultando em pureza de 99,9%. Absorvendo um percentual próximo à 0,04% de Oxigênio no composto fig. (3), por Fernández, 2004); no ponto [3] da mesma figura a concentração de Oxigênio atinge cerca de 200 ppm, determinando a passividade na oxidação em virtude do aquecimento por temperaturas extremas. No ponto [1] admite-se como valor máximo 26 ppm de concentração.

<sup>2</sup> – 100% de IACS representa a condutividade de 58 MegaSiemens/metro ( $MS.m^{-1}$ ), que corresponde a 1/58 Ohm/metro ( $\Omega.m^{-1}$ ) em um milímetro quadrado ( $mm^2$ ) de seção circular do material

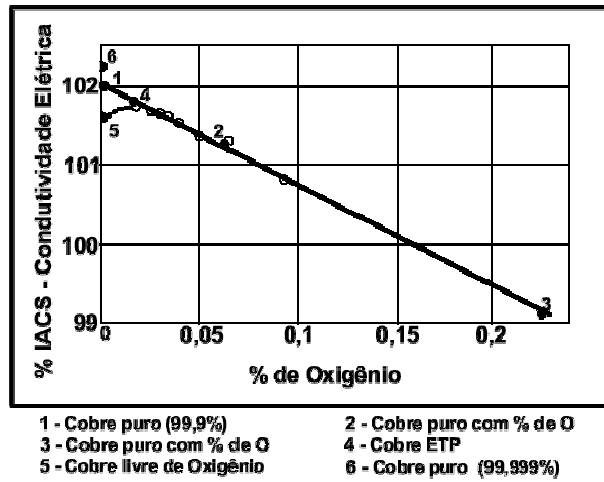


Figura 3 – Efeito do Oxigênio na condutividade do cobre.

Fernández, 2004, identifica entre os elementos, da tab. 1, as características de disponibilização de elétrons livres em suas estruturas, indicando o percentual de condutividade para cada qual:

Tabela 1 – Condutividade Térmica e Elétrica de alguns elementos materiais.

Características	Cobre puro	Cobre ETP	Prata (Ag)	Alumínio (Al)	Ouro (Au)	Ferro (Fe)	Níquel (Ni)	Zinco (Zn)	Tungstênio (W)
Condutividade Elétrica (%IACS)	103,6	101	106	65	73,4	17,6	25,2	28,27	30
Condutividade Térmica (W/m.K)	398	391	428	247	317,9	80,4	82,9	113	160

O cobre ETP em função de suas características intrínsecas, cuja estrutura dos cristais se apresenta como Cúbica de Face Centrada – CFC, sofre alterações significativas no formato e tamanho do grão, quando da exposição à temperaturas conhecidas como de recristalização, através do princípio da autodifusão; se um átomo que está adjacente a uma lacuna tiver energia de ativação (vibracional) suficiente, pode quebrar sua ligação atômica que une-o à átomos vizinhos, e então, mover-se para a posição da lacuna, sendo a energia vibracional diretamente proporcional a temperatura de exposição do material. Portanto quanto maior a temperatura, maior a energia de ativação do átomo na autodifusão; daí a implicação de que a variação de temperatura influencia no crescimento de grãos pela migração dos contornos desses, resultante do alívio de tensões nos próprios contornos, conforme descreve Callister, 2005, implicando na conseqüente fluência das lacunas. A fig. (4a) mostra esse princípio destacando a energia de ativação na concentração das lacunas; a fig. (4b) indica o grão difundindo além do contorno.

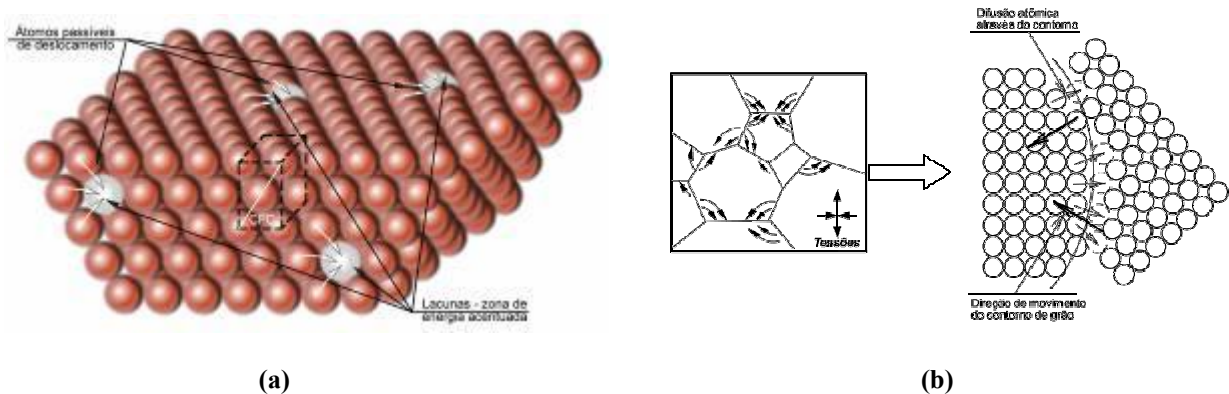


Figura 4 – (a) e (b) Crescimento de grão pela difusão atômica. Adaptado de Callister, 2005.

### 3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Inicialmente o material, obtido da concessionária de energia elétrica, em formato de fio de cobre ETP C110 nu, têmpera meio-duro, conforme características do fabricante, foi submetido a análise espectrofotometria de absorção atômica apresentando a composição percentual do elementos descritos na tab. (2) a seguir.

Tabela 2 – Composição do material sob estudo (Natrium Química).

Parâmetro	Cobre	Prata	Ferro	Manganês	Níquel	Cromo
Composição (%)	99,95	0,0061	0,006	0,0001	0,0031	0,00027

Na seqüência foram preparadas as amostras do material, cujo diâmetro é  $\approx 4,515$  mm (seção transversal de  $16\text{mm}^2$ ) em comprimento de 80cm, moldando-o para a conexão no equipamento gerador de corrente<sup>3</sup>, sempre monitorando o comportamento da temperatura<sup>4</sup>, objetivando o escalonamento nos valores da corrente para cada amostra, a fim de obter-se a partir destas, os corpos de provas; no total foram preparadas 05 amostras mais 01 do produto “in natura”. Cada amostra foi caracterizada conforme tab. (3).

Tabela 3 – Caracterização das amostras relacionadas aos eventos possíveis numa linha de energia elétrica externa.

N ° da Amostra	1	2	3	4	5	6
Corrente aplicada - i (Amper)	0	143	700	286	214,5	400
Evento relacionado	Produto “in natura”	i nominal (trabalho contínuo)	i de curto-circuito médio na BT (intermitente)	2 vezes i nominal	1,5 vezes i nominal	i permanente por 20 min.

A partir da caracterização das amostras foram efetuados procedimentos de testes e ensaios objetivando resultados fieis às condições assemelhadas as situações reais de comportamento em relação aos eventos apontados na tab. (3). Como fatores importantes ao subsídio de valores comparativos produziram-se ensaios de tração unidirecional em câmara com controle da temperatura; Resistividade elétrica (método indireto pela ponte de Kelvin); microscopia óptica.

### 4. RESULTADOS

As caracterizações das amostras (exceto “in natura”) foram produzidas com monitoramento da temperatura sobre a ocorrência e amplitude da corrente elétrica; nas amostras 2, 4 e 5 foram produzidas correntes conforme valores da tab. (3), obtendo o gradiente de temperatura mostrado na fig. (5).

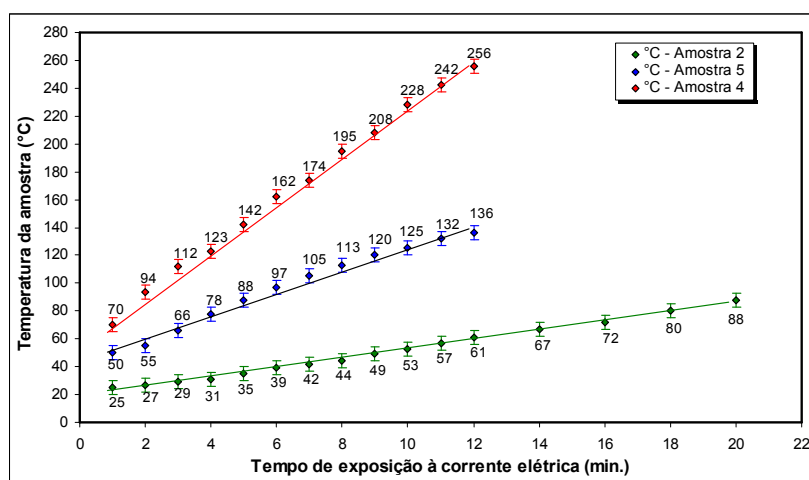


Figura 5 – Tendências do gradiente da temperatura do material em exposição a corrente elétrica fixa durante intervalo de tempo.

<sup>3</sup> – Gerador de corrente – Electric Test Serta (modelo SCA-175) série 113 – escala 0 à 2.000Amper

<sup>4</sup> – Monitoramento da temperatura com Termopar/termômetro digital PT100 – RDH147N (-65 à 660 °C)

Para a amostra 3 produziu-se um corrente elétrica de 700A, a qual corresponde a corrente média de curto-circuito em 380 Volts, entre intervalos médios de 1 minuto, com duração média da circulação de corrente de 100 ms, para 30 ciclos sequenciais; como o tempo de aplicação é curto a temperatura, em função do gradiente, não atingiu maiores valores, apresentando média de 79°C . Na produção da 6ª amostra fez-se circular uma intensidade de corrente na ordem de 400 A durante 2 minutos; durante o ensaio o material atingiu a incandescência, fato este que notoriamente resultou no recozimento severo, à temperatura de 378°C.

#### 4.1 Obtenção da Resistividade

Os valores de Resistividade foram obtidos indiretamente a partir da medição dos valores de Resistência Elétrica utilizando-se o Ohmímetro Ducter Nansen (ODI10 – 200μΩ à 20Ω), instrumento baseado na funcionalidade da ponte de Kelvin, em conformidade com a NBR6815/1981. Todos com seção circular de 16mm² (0,16cm²) e comprimento de 62cm (subtraído 9cm de cada extremidade); aplicando a 2ª Lei de Ohm  $\rho = \frac{R.A}{l}$ , obtêm-se a resistividade elétrica, cujos valores estão expressos na tab. (4) a seguir.

Tabela 4 – Valores de resistência e resistividade das amostras obtidos à 20°C.

N ° da Amostra	1	2	3	4	5	6
Resistência Elétrica - R (Ohm - Ω)	68x10 <sup>-7</sup>	67,5x10 <sup>-7</sup>	67,5x10 <sup>-7</sup>	66,5x10 <sup>-7</sup>	67,5x10 <sup>-7</sup>	68x10 <sup>-7</sup>
Resistividade Elétrica - ρ (Ω.cm)	1,75x10 <sup>-6</sup>	1,74x10 <sup>-6</sup>	1,74x10 <sup>-6</sup>	1,71x10 <sup>-6</sup>	1,74x10 <sup>-6</sup>	1,75x10 <sup>-6</sup>

A partir de produto “in natura” procedeu-se com medidas de resistência para temperaturas de 35, 47, 64, 76, 90, 103 e 120°C obtendo-se o incremento da resistividade, como mostra a fig. (6) baseando nos preceitos na NBR6814/1986.

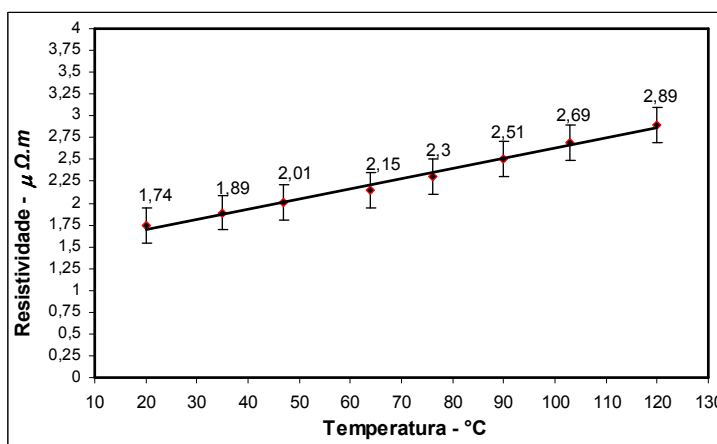


Figura 6 – Variação da resistividade do cobre com o aumento da temperatura.

#### 4.2 Ensaios de Tração Unidirecional

Os ensaios de Tração unidirecional, em conformidade com a NBR6810/1981, com amostras de 25cm de comprimento foram realizados com máquina universal de ensaios (EMIC 100kN – DL10000) submetido a temperatura através de estufa (Biopar) à temperatura de 88°C, apresentando os valores da tab. (5), a seguir.

Tabela 5 – Valores obtidos no ensaio de tração a 88°C.

N ° da Amostra	1	2	3	4	5	6
Tensão de Escoamento (MPa)	269,78	270,31	279,50	57,55	105,46	50,98
Tensão Máxima (MPa)	304,71	292,33	288,88	168,00	184,95	159,62
Alongamento até ruptura (%)	8,77	8,56	8,48	54,06	35,23	46,15



### 4.3 Microscopia Óptica

As amostras foram inspecionadas conforme ordem de classificação de 1 a 6; os resultados caracterizam os modelos dos eventos ao qual foram expostos, de acordo com as fig. (7) à (12) na seqüência.

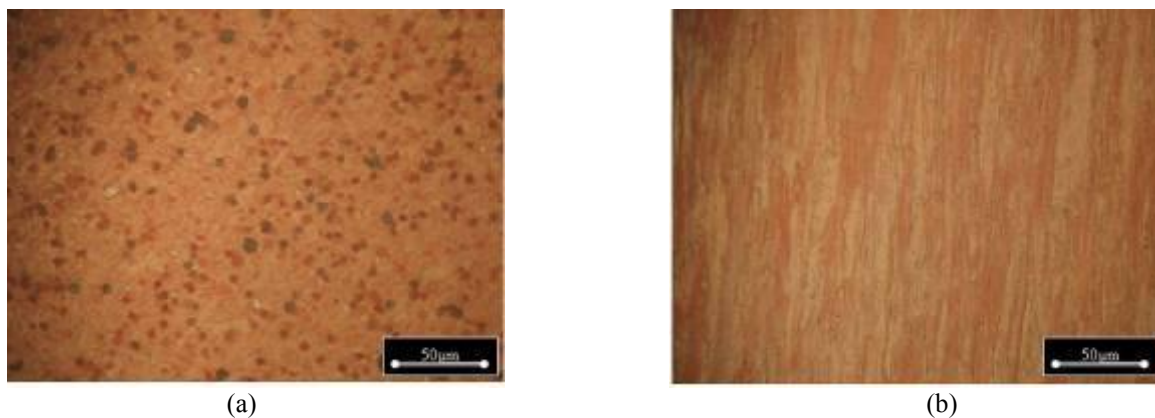


Figura 7 – Micrografia da amostra 1 – cobre “in natura”  
(a) – transversal, e (b) – longitudinal.

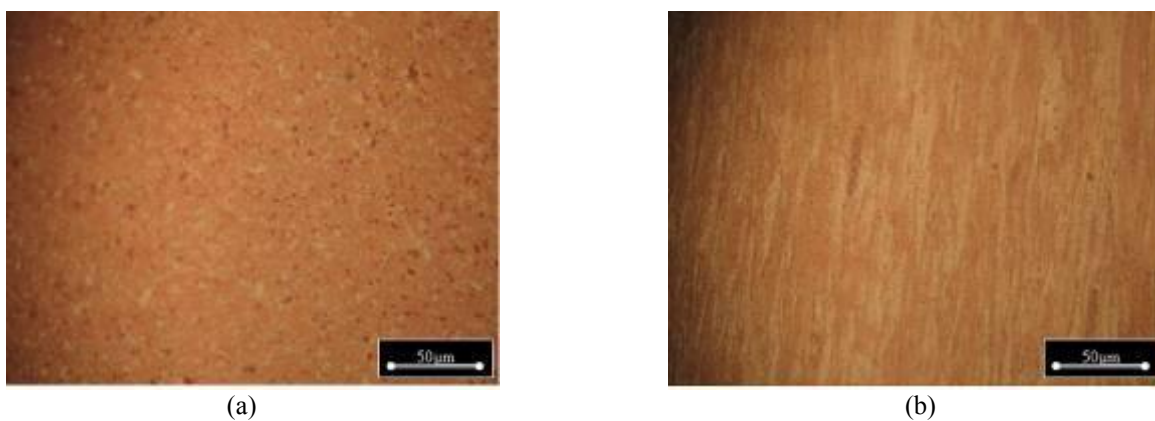


Figura 8 – Micrografia da amostra 2 – exposto a temperatura de 88°C  
(a) – transversal, e (b) – longitudinal.

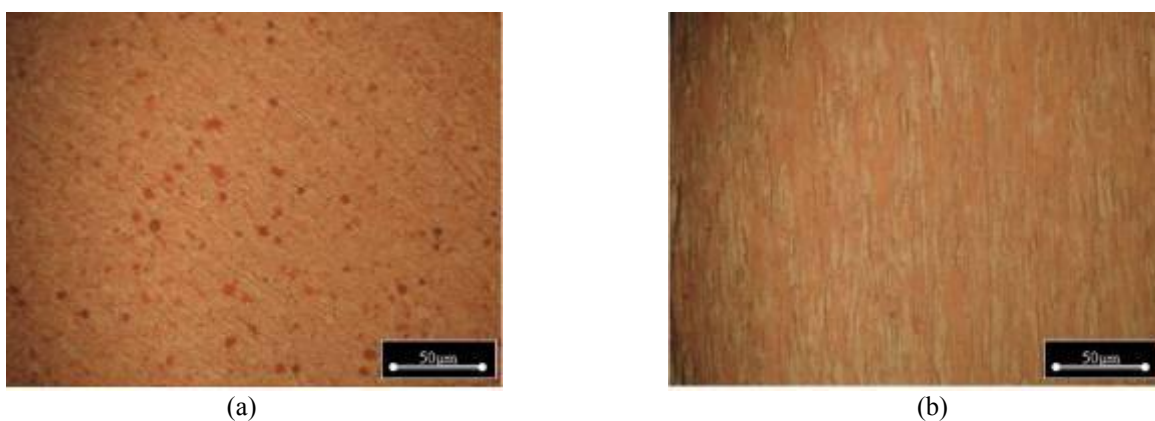


Figura 9 – Micrografia da amostra 3 – exposto a temperatura de 79°C  
(a) – transversal, e (b) – longitudinal.

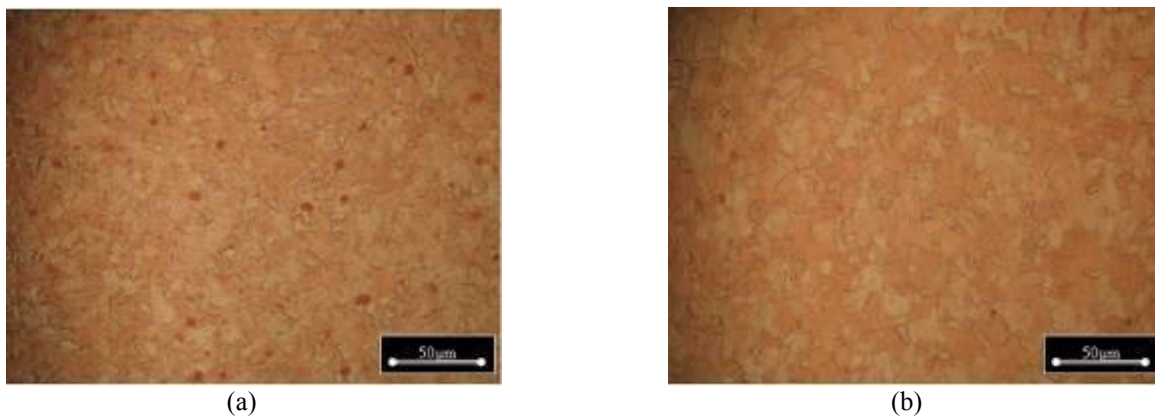


Figura 10 – Micrografia da amostra 4 – exposto a temperatura de 256°C  
(a) – transversal, e (b) – longitudinal.



Figura 11 – Micrografia da amostra 5 – exposto a temperatura de 136°C  
(a) – transversal, e (b) – longitudinal.

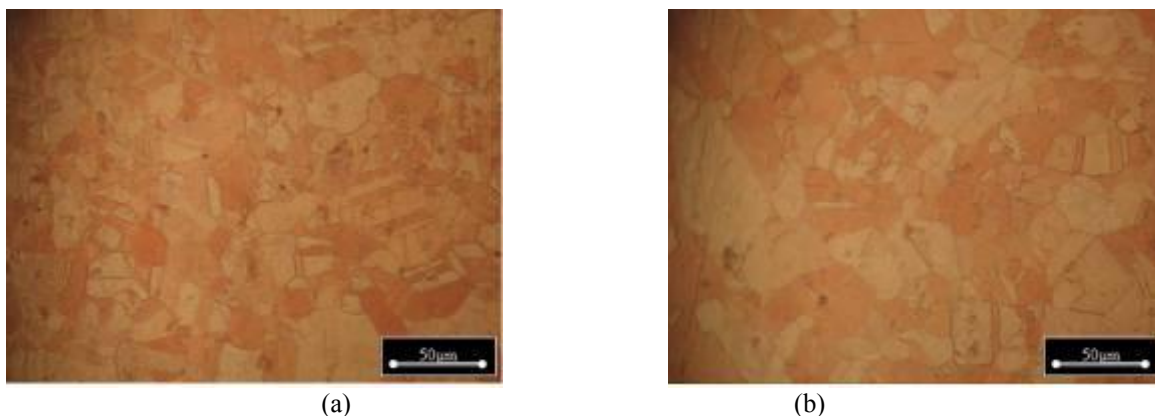


Figura 12 – Micrografia da amostra 6 – exposto a temperatura de 378°C  
(a) – transversal, e (b) – longitudinal.

## 5. Discussões dos Resultados

Valores de temperatura próximas a 69°C iniciavam a descoloração do cobre, produzindo um tom dourado; isto ficou evidente nas amostras 2 e 3 que obtiveram a temperatura limitada, respectivamente, à 63 e 136°C até estabilização. As fig. (10), (11) e (12) apresentaram coloração com tons de marrom escuro, evidenciando a influência do oxigênio na composição ocasionando a oxidação ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) de alguns contornos de grãos, que segundo Rao et al, 2004, em temperaturas eutéticas pode atingir valores de oxigênio em torno de 300 ppm.



## 5.1 Resistividade

No processo de caracterização das amostras, a cada intervalo de tempo aleatório, tornava-se necessário realinhar o ajuste do valor da corrente no dispositivo gerador, principalmente para os casos de maior corrente, onde a temperatura atingia níveis mais significativos. A influência da temperatura na alteração da resistividade do cobre, conforme fig. (6), projeta uma linearidade crescente no comportamento da resistividade em aproximadamente 0,65% para cada 1°C.

## 5.2 Ensaio de Tração Unidirecional

Estes ensaios foram realizados com inferência do valor de temperatura média, relativo a influência da corrente nominal de trabalho, conforme fig. 5 (amostra 2), cujo valor estabilizou em 88°C à 20 minutos de aplicação ininterrupta de corrente (143 A). Dessa forma as amostras foram ensaiadas à temperatura de 88°C ajustada pela estufa acoplada na máquina de ensaio de tração, mostradas na fig. (13a) e (13b).

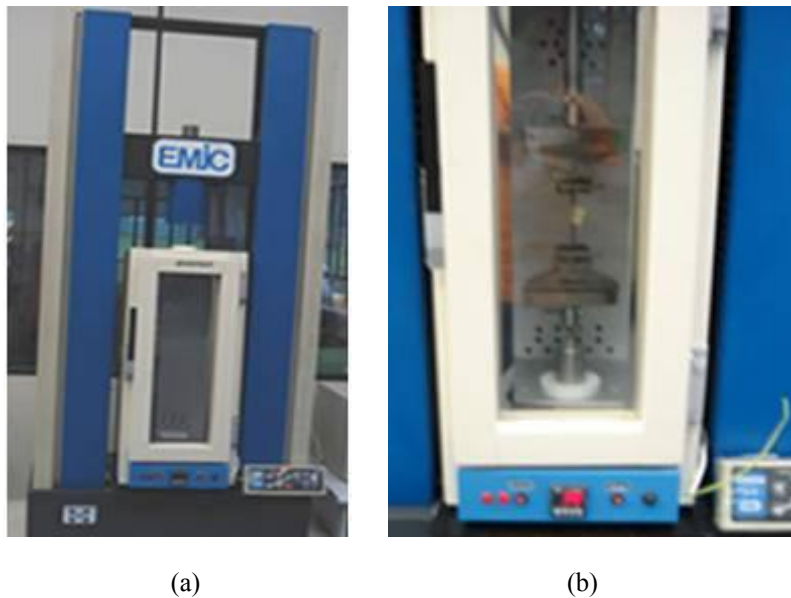


Figura 13 – (a) Equipamento de ensaio de Tração Unidirecional com estufa acoplada, (b) detalhe estufa Biopar.

Os resultados obtidos nas amostras 1, 2 e 3 são similares entre si (gráfico da fig. (14) e tab. (5)) e apontam que a resistência à tração nas condições específicas de trabalho nominal e nos eventos de curto circuitos são compatíveis aos resultados da amostra do cobre “in natura”. Ambas as amostras tiveram limites de tensões muito próximas, variando em 5,47% na maior relação (em média 295,30 MPa); o mesmo comportamento foi observado para tensões de escoamento e deformação, sendo em média 273,2 MPa e 8,60%, respectivamente.

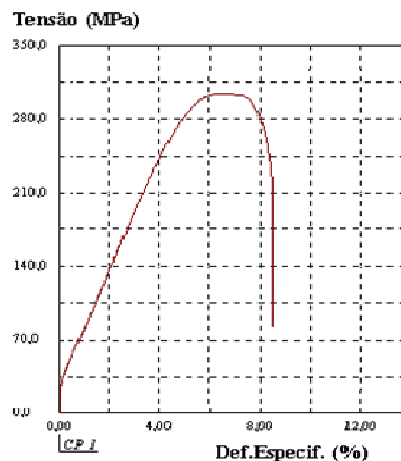


Figura 14 – Gráfico de ensaio de tração à 88°C compatível com as amostras 1, 2 e 3.

Os gráficos da fig. (15) indicam o comportamento da resistência à tração de fios instalados numa rede de energia elétrica hipotética que foram expostos a sobrecarga de 150 (fig. 15a) e 200% (fig. 15b). Observam-se comportamentos distintos para os casos; quando exposto a sobrecargas (sobre correntes) os condutores descaracterizam-se quanto a elasticidade e tensões de ruptura.

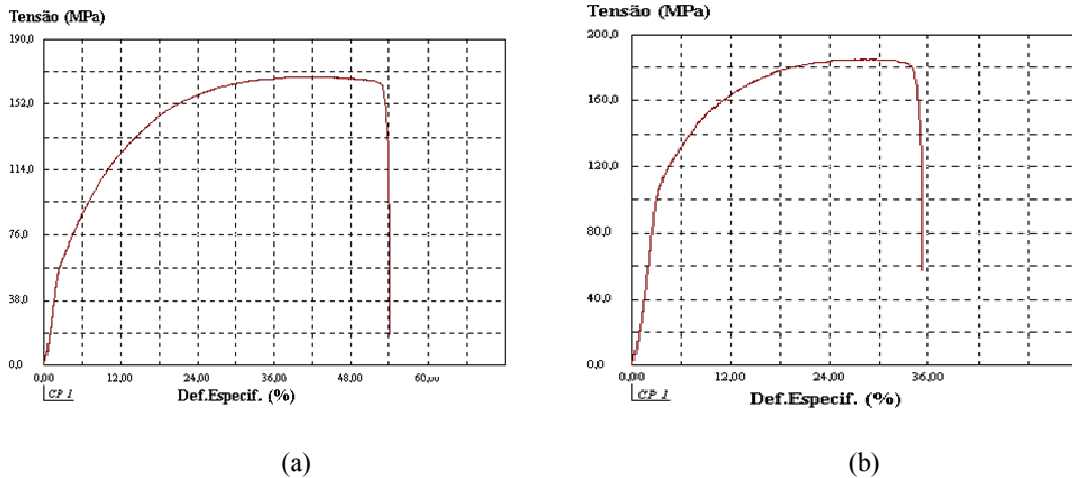


Figura 15 – Gráfico de ensaio de tração à 88°C – (a) amostras 4 (200% de In) e (b) amostra 5 (150% de In).

Na amostra 4 a minimização da elasticidade chegou a 21,29%, e o limite de tensão suportada à 57,46%, ambos da capacidade da condição nominal (vide tab. (5)). Já na amostra 5, sob mesma análise, apontou em 39,01% (limite de escoamento) e 63,26% (tensão máxima), também em relação a amostra 2.

A amostra 6 identifica o recozimento severo do cobre ETP e, teoricamente apresenta valores de estabilização para os critérios estudados no caso mais severo, ou seja, pode-se considerar que a partir dos valores de temperaturas ao qual foram aplicados há uma tendência de estabilização dos mesmos critérios. Sendo assim, a elasticidade chega a 18,85% e a máxima tensão aplicada fica em 54,60% da amostra 2, conforme fig. (16).

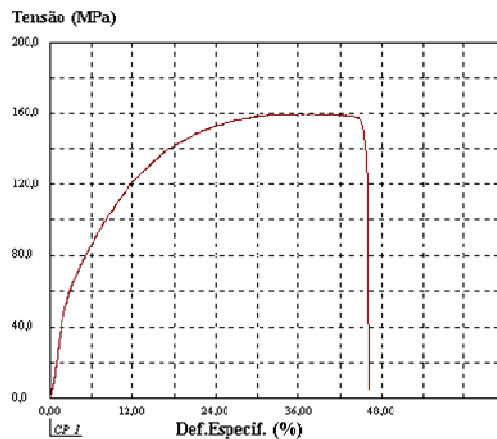


Figura 16 – Gráfico de ensaio de tração à 88°C – amostra 6.

## 6. Conclusões

O retorno as condições de resistividade nominal ( $1,74 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ) à base de comparação é em média  $0,5^\circ\text{C}$  por segundo, haja vista que a temperatura se dissipa rapidamente em função da característica de boa condutividade térmica do cobre, considerando ainda que todas as amostras apresentaram valores similares à temperatura de  $20^\circ\text{C}$ .

Os valores apresentados na tab. (5) e fig. (14) indicam que o fio de cobre permanece com condições operacionais, sem dilatação excessiva, quando exposto a correntes nominal ou de curto circuitos de curta duração, com tempo próximo a 100 ms, que é o tempo de atuação da proteção contra sobre corrente. Portanto o mesmo apresenta funcionalidade efetiva no sistema elétrico e vida útil normal.

Uma vez submetido a eventos em que a corrente circulante tenha ultrapassado o valor limite nominal, intensifica a possibilidade de ocorrências de dilatação (deformação plástica) nos fios, reduzindo a eficácia da elasticidade na ordem média de 0,85% a cada Ampere incrementado até a corrente de 215A; de 215 à 286A o percentual diminui para

0,63%/A, e a partir de 287A estabiliza em 0,1%/A (fig. (17)). Os fios permanecem em constante tração devido à ancoragem aos postes da linha de energia elétrica, e segundo o mesmo critério de análise, há um decréscimo na capacidade de tensão na ancoragem dos postes, intensificando o efeito da dilatação e até mesmo o rompimento dos mesmos numa proporção média de 0,51%/A até a corrente de 215 A; de 215 à 286 A o percentual diminui para 0,13%/A, e a partir de 287 A estabiliza em 0,07%/A (fig. (17)).

Também na fig. (17) fica evidente que as justificativas anteriores são reforçadas pela representação do aumento significativo na deformação total em 5,39 vezes (deformação de 439%), acentuando a flecha de dilatação em condutores dispostos verticalmente.

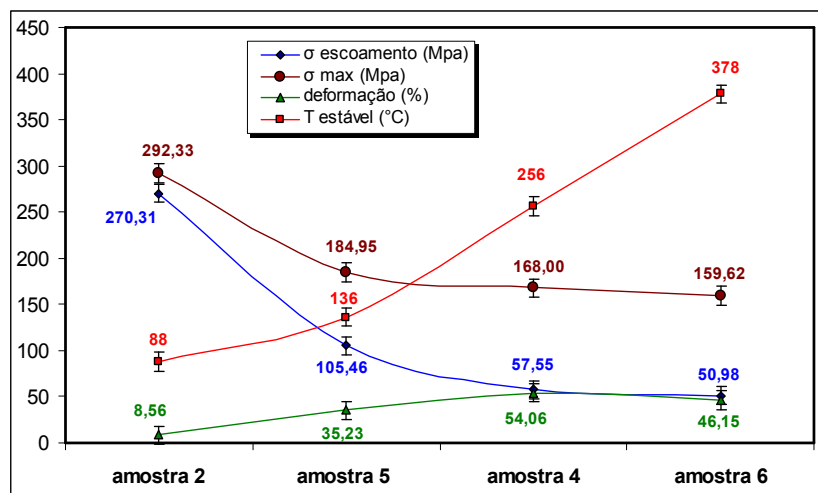


Figura 17 – Alteração das características do fio em relação à influência da corrente circulante de trabalho.

O efeito da variação da temperatura à níveis críticos na análise relacionada ao cobre ETP, influencia diretamente no desempenho dos níveis de qualidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica, haja vista a consideração obrigatória das perdas por efeito Joule no aquecimento intrínseco do condutor, como também sendo a causa inerente a curto circuitos através da dilatação dos mesmos.

Por fim, cuidados devem ser observados referentes ao dimensionamento desses condutores enquanto exposto a regiões geográficas onde a temperatura ambiente atinge índices acentuados ( $>40^{\circ}\text{C}$ ), já que nessas condições de clima a demanda de consumo de energia sofre aumento considerável.

## 7. AGRADECIMENTOS

A todos os envolvidos no desenvolvimento deste, principalmente à CELESC Distribuição SA pelo fornecimento das amostras; à Faculdade SATC pela oportunidade de aprimoramento; ao Prof. Jaime Álvares Spim Jr, na orientação devotada; e aos colegas que subsidiaram durante as pesquisas e experimentos.

## 8. REFERÊNCIAS

- Callister, William D., 2005. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada**. Traduzido por Sérgio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC-2ªe. pp 105-373.
- Fernández, Victor Gerardo García, 2004. **Constitutive Relations to Model the Hot Flow of Commercial Purity Copper**. Tese de Doutorado. Universitat Politècnica de Catalunya - EPC. Barcelona. Disponível em [http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0104105-092144/index\\_an.html](http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0104105-092144/index_an.html), acessado em Agosto de 2007.
- Peralta, Manuel A., 1995. **High Conductivity copper**. Publicado no IEEEExplore Release 2.5. Disponível em [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=464650](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=464650), acessado em Janeiro/2008.
- Rao, K.P.; Prasad, Y.V.R.K., 2004. **Mechanisms of high temperature deformation in electrolytic copper in extended ranges of temperature and strain rate**. Publicado no Materials Science and Engineering em Março/2004. Disponível em [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6TXD4CDJHJT-3&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=c&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=16291f26569bc9e056a6f00ca3e4c09e](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TXD4CDJHJT-3&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=16291f26569bc9e056a6f00ca3e4c09e), acessado em Janeiro/2008.
- Van Vlack, Lawrence Hall, 1970. **Princípios de Ciência dos Materiais**. Traduzido por Luiz Paulo Camargo Ferrão. São Paulo: Edgard Blücher. pp 107-124.

## 8.1 Normas Técnicas

Celesc, 2002. Celesc Distribuição SA. Instrução de especificação E-313.0032. **Especificação de condutores de cobre nu**. Florianópolis – SC, 2002. 15 pp.

NBR5471/1986. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **Condutores elétricos**. Rio de Janeiro. 10 pp.

NBR6810/1981 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **Fios e cabos elétricos: Tração à ruptura em componentes metálicos**. Rio de Janeiro. 4 pp.

NBR6814/1986 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **Fios e cabos elétricos: ensaio de resistência elétrica**. Rio de Janeiro. 3 pp.

NBR6815/1981 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **Fios e cabos elétricos: ensaio de determinação da resistividade em componentes metálicos**. Rio de Janeiro. 3 pp.

## 9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.