

CADASTRO PRODUÇÃO TÉCNICA/TECNOLÓGICA DA ÁREA DE MATERIAIS

TIPO DE PRODUÇÃO: TÉCNICA	Subtipo de Produção: <input checked="" type="checkbox"/> Patente <input type="checkbox"/> Processo/Tecnologia e Produto/ Material não patenteável <input type="checkbox"/> Desenvolvimento de Produto/ Desenvolvimento de Técnica <input type="checkbox"/> Desenvolvimento de Aplicativo <input type="checkbox"/> Relatório de Pesquisa <input type="checkbox"/> Outro	Correspondência com os novos subtipos-produtos técnicos/tecnológicos: <input type="checkbox"/> Ativos de propriedade intelectual- Patente <input type="checkbox"/> Processo / Tecnologia e Produto / Material não patenteáveis <input type="checkbox"/> Desenvolvimento de Produto/ Desenvolvimento de Técnica <input type="checkbox"/> Produtos /Processos em sigilo <input type="checkbox"/> Software/Aplicativo (programa de computador) <input type="checkbox"/> Ativo de propriedade Intelectual- Desenho Industrial <input type="checkbox"/> Produto de editoração <input type="checkbox"/> Norma ou Marco regulatório <input type="checkbox"/> Relatório técnico conclusivo <input type="checkbox"/> Produto Técnico Bibliográfico (Artigo publicado em revista técnica)
TÍTULO:	REVESTIMENTO COMPOSITO DE ALUMÍNIO-GRAFENO PARA BARRAMENTOS BLINDADOS DE ALUMÍNIO E MÉTODO DE PRODUÇÃO	
ANO:	23/02/2024	
NOME DO PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO:	Programa de pós Graduação em Processamento de Materiais	
UNIVERSIDADE:	Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP	
VINCULADA AO TRABALHO DE CONCLUSÃO:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO Título: Aplicação do Grafeno na Otimização da Condutibilidade Elétrica em Barras Conductoras de Alumínio em Barramentos Blindados – Busway Link de acesso ao trabalho de conclusão vinculado: https://repositorio.univap.br/collections/6cdc4a71-20a6-4a20-889b-653e80280891	
AUTORES: (PREENCHER AS DUAS COLUNAS PARA TODOS OS AUTORES)	CATEGORIA: <input checked="" type="checkbox"/> discente <input checked="" type="checkbox"/> docente <input type="checkbox"/> participante externo <input type="checkbox"/> pós-doc <input type="checkbox"/> egresso <input type="checkbox"/> participante estrangeiro	NOME: Renato Kogima Francesa Morel (discente) Lucia Vieira (Docente)

RESUMO:

Introdução. Refere-se a uma formulação para obtenção de pó de grafeno, álcool e carboximetilcelulose (CMC) em proporções 10:10 e da escolha da barra de alumínio 6101 com dimensões de (300x80x6) mm, possuem uma condutividade medida em IACS de 53 a 59%, contendo aproximadamente Si 0,7%, Fe 0,5%, Cu 0,1%, Mn 0,03%, Mg 0,8%, Cr 0,03%, Zn 0,1% e outros elementos em 0,03%, que após o processo de aplicação do pó do grafeno e secagem, utiliza-se o equipamento “*Laser Cladding*”, para sinterização do pó de grafeno na barra de alumínio 6101.

Metodologia. Uma concretização descrita a seguir trata-se de aplicação de revestimentos aplicados na superfície das barras condutoras de alumínio, com dimensões de (300x80x6) mm. As barras de liga de Alumínio 6101 ou equivalente que originalmente possui uma condutividade medida em IACS de 53 a 59%, contendo aproximadamente Si 0,7%, Fe 0,5%, Cu 0,1%, Mn 0,03%, Mg 0,8%, Cr 0,03%, Zn 0,1% e outros elementos em 0,03%. Os revestimentos de grafeno foram preparados misturando o pó de grafeno com uma solução de álcool e carboximetilcelulose (CMC) na proporção de 10:10. Após a aplicação da solução de grafeno nas barras de alumínio, as barras revestidas foram colocadas em um forno para secar. Cuidados especiais foram tomados para evitar a contaminação por poeira ou partículas do ambiente durante o processo de secagem. A dispersão da solução de grafeno nas barras foi realizada usando o método comum de pulverização. Métodos de Aplicação de Grafeno nas Barras Condutoras de Alumínio, Liga 6101 consiste de barras de Alumínio 6101 com dimensões de (300x80x6) mm. As barras de alumínio passaram por um processo de limpeza da superfície e remoção de impurezas para facilitar a aplicação do grafeno. Para a aplicação do grafeno nas barras de Alumínio 6101 com dimensões de (300x80x6) mm, foi utilizado um sistema de pintura convencional. As barras de Alumínio 6101 com dimensões de (300x80x6) mm, agora revestidas com grafeno e prontas para produzir os revestimentos de grafeno com alótropos de carbono em barramentos de alumínio por meio de um revestimento composto alumínio-grafeno pela técnica de revestimento a laser, do Inglês “*Laser Cladding*”.

	<p>Resultados. O documento apresenta os resultados relacionados à formulação, método de produção e aplicação de um revestimento compósito de alumínio-grafeno em barramentos blindados de alumínio. Os principais resultados destacados são:Formulação do Pó de Grafeno:Utilização de grafeno em pó misturado com uma solução de álcool e carboximetilcelulose (CMC) na proporção de 10:10. A solução foi pulverizada sobre barras de alumínio 6101 e secada em forno, com cuidados para evitar contaminação ambiental.</p> <p>Parâmetros do Processo de Revestimento:Uso de equipamento “Laser Cladding” com os seguintes parâmetros:Potência do laser de CO₂: 70 W;Velocidade do laser: 200 mm/s;Sobreposição do foco do laser: 40%;Resolução: 25,4/250 = 0,101 linhas/polegada;Diâmetro do feixe de laser: 0,2 mm;</p> <p>Conclusão. Propriedades e Benefícios Obtidos:Melhoria na condutividade elétrica e dissipação térmica dos barramentos. Revestimento com maior resistência contra abrasão, corrosão e atrito. Produção de barramentos mais compactos e eficientes, viabilizando uma alternativa ao uso de cobre.</p> <p>Aplicação Específica: O revestimento é voltado para barras condutoras de alumínio em dimensões específicas (300x80x6 mm), garantindo alta condutividade (53-59% IACS) e resistência mecânica</p>
<p>PALAVRAS-CHAVE</p>	<p>Alumínio; Barramentos blindados; Condutores; Grafeno;</p>
<p>LOCAL DE REGISTRO E NÚMERO</p>	<p>INPI- Instituto Nacional da Propriedade Industrial BR 102024 003631 0</p>
<p>FINALIDADE:</p>	<p>A finalidade do documento é apresentar uma solicitação de patente para um revestimento compósito de alumínio-grafeno destinado a barramentos blindados de alumínio, bem como o método de produção associado. O objetivo principal foi proteger a inovação desenvolvida, que consiste na formulação, aplicação e sinterização do revestimento utilizando grafeno em pó e o equipamento "Laser Cladding".</p> <p>Conclusão : O revestimento de alotropos de carbono foi depositado sobre Barras Condutoras de Alumínio usadas como Barramentos Blindados – Busway visando a Otimização da Condutibilidade Elétrica. A patente foi depositada</p>

<p>ANEXOS:</p>	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> ANEXO A: CARTA DE APOIO DE EMPRESA/INDUSTRIA/OUTRO<input type="checkbox"/> ANEXO B: CONTRATO DE PARCERIA OU DOCUMENTO SIMILAR<input type="checkbox"/> ANEXO C: DOCUMENTO CONTENDO A EXIGÊNCIA DO SIGILO DA ENTIDADE PARCEIRA OU ÓRGÃO QUE EXIJA O SIGILO<input type="checkbox"/> ANEXO D: RELATÓRIO/ARTIGO DESCRITIVO DO PTT (documento não necessário para patentes, software/aplicativo/ desenho industrial com registro de propriedade intelectual e PTT com sigilo).<input checked="" type="checkbox"/> ANEXO E: OUTRO. QUAL? Documento do pedido de patente depositado
-----------------------	--

DADOS PARA CADASTRO NA PALATAFORMA SUCUPIRA		
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:	Engenharia	
LINHA DE PESQUISA:	TECNOLOGIAS INDUSTRIAIS PARA APLICAÇÃO AERONÁUTICA, AMBIENTAL, CIVIL, QUÍMICA, AUTOMOBILÍSTICA E SIMILARES	
PROJETO DE PESQUISA:	Produção de revestimentos e Filmes Finos	
MODALIDADE (profissional ou acadêmica):	Profissional	
RECURSOS E VÍNCULOS DO PTT	Produção Técnica e Tecnológica (PTT) – Alto grau de Inovação	
DEMANDANTE:	Os Inventores	
AVANÇOS TECNOLÓGICOS/GRAU DE NOVIDADE: X Alto <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Baixo	HÁ LICENCIAMENTO: X Não <input type="checkbox"/> Sim. Onde: _____	SITUAÇÃO ATUAL DA PRODUÇÃO: X Aceito/Depositado <input type="checkbox"/> Publicado/Concedido <input type="checkbox"/> Implementado
IMPACTO – NÍVEL X Alto <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Baixo	IMPACTO – DEMANDA X Espontânea <input type="checkbox"/> Por Concorrência <input type="checkbox"/> Contratada	IMPACTO – OBJETIVO PESQUISA <input type="checkbox"/> Experimental X Solução de um problema previamente identificado <input type="checkbox"/> Sem um foco de aplicação previamente definido
IMPACTO – TIPO X Potencial <input type="checkbox"/> Real	REPLICABILIDADE X Sim <input type="checkbox"/> Não	COMPLEXIDADE X Alto <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Baixo
INOVAÇÃO X Alto teor inovativo <input type="checkbox"/> Sem inovação aparente <input type="checkbox"/> Baixo teor inovativo <input type="checkbox"/> Médio teor inovativo	ABRAGÊNCIA TERRITORIAL <input type="checkbox"/> Local <input type="checkbox"/> Internacional X Nacional <input type="checkbox"/> Regional	IMPACTO – ÁREA IMPACTADA PELA PRODUÇÃO <input type="checkbox"/> Econômico <input type="checkbox"/> Ensino <input type="checkbox"/> Social <input type="checkbox"/> Cultural <input type="checkbox"/> Ambiental X Científico <input type="checkbox"/> Aprendizagem
DECLARAÇÃO DE VÍNCULO DO PRODUTO COM PDI DA INSTITUIÇÃO X Sim <input type="checkbox"/> Não	HOUVE FOMENTO? <input type="checkbox"/> Financiamento <input type="checkbox"/> Não houve X Cooperação	HÁ REGISTRO/DEPÓSITO DE PROPRIEDADE INTELECTUAL? X Sim <input type="checkbox"/> Não
ESTÁGIO DA TECNOLOGIA X Piloto/Protótipo <input type="checkbox"/> Finalizado/Implantado <input type="checkbox"/> Em teste	HÁ TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA/CONHECIMENTO? X Sim <input type="checkbox"/> Não	URL: https://www.gov.br/inpi/pt-br

SETOR DA SOCIEDADE BENEFICIADO PELO IMPACTO	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura<input type="checkbox"/> Indústrias de transformação<input type="checkbox"/> Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação<input type="checkbox"/> Comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas<input type="checkbox"/> Transporte, armazenagem e Correios<input type="checkbox"/> Alojamento e alimentação<input type="checkbox"/> Informação e comunicação<input type="checkbox"/> Atividades Financeiras, de seguros e Serviços relacionados<input type="checkbox"/> Atividades Imobiliárias<input type="checkbox"/> Atividades Profissionais, científicas e técnicas<input type="checkbox"/> Atividades administrativas, Serviços complementares<input type="checkbox"/> Administração pública, defesa e seguridade social<input type="checkbox"/> Educação<input type="checkbox"/> Saúde humana e serviços sociais<input type="checkbox"/> Artes, cultura, esporte e recreação<input checked="" type="checkbox"/> Outras atividades de serviços<input type="checkbox"/> Serviços domésticos<input type="checkbox"/> Organismos internacionais e outras instituições extraterritoriais<input type="checkbox"/> Indústrias extrativas<input type="checkbox"/> Eletricidade e gás
--	---

Fontes consultadas:

CAPES. GT de Produção Técnica. Relatório de Grupo de Trabalho. Brasília: CAPES,. 2019. Produto. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/10062019-producao-tecnica-pdf>

Ficha da área de Materiais quadriênios 2017-2020 e 2021-2024. Disponível em: https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/documentos/avaliacao/MATERIAIS_2.0.pdf

<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/>

Plataforma Sucupira, preenchimento do coleta Capes, 2023.

ANEXO D

APLICAÇÃO DO GRAFENO NA OTIMIZAÇÃO DA CONDUTIBILIDADE ELÉTRICA EM BARRAS CONDUTORAS DE ALUMÍNIO EM BARRAMENTOS BLINDADOS – BUSWAY

1. INTRODUÇÃO

A utilização da energia elétrica é cada vez mais necessária, com diversas aplicações, tanto na indústria e comércio, como também nas utilizações em residências e ambientes externos. Para atender a todos estes locais é necessária a utilização de condutores que sejam capazes de transportar e distribuir a energia elétrica (ZARBIN; OLIVEIRA, 2013).

O principal material utilizado nestes condutores é o cobre, porém sua utilização no Século XXI leva a algumas problemáticas, como a limitada disponibilidade deste material com relação a demanda exigida, além das novas aplicações deste material, utilizado em eletrônicos, veículos elétricos, motores elétricos, entre diversas outras, aumentando o custo dos condutores e reduzindo o seu custo-benefício (ZARBIN; OLIVEIRA, 2013).

Os Barramentos blindados são condutores de energia em substituição aos cabos comuns, onde possuem devidos condutores de fase e neutro dentro de um involucro externo, formando assim praticamente um corpo único (ZIMMERMANN Bruno, 2019). Os barramentos blindados devem suportar a passagem de uma determinada corrente elétrica de forma contínua, com a possibilidade de picos de corrente, para isso são utilizados materiais com boa condutividade, como o cobre e o alumínio, apesar do cobre ser o material mais comum para este tipo de sistema, vista a sua boa condutividade, a aplicação do alumínio vem se expandindo ao longo dos últimos anos por seu fácil manuseio e quantidade disponível a nível nacional, possibilitando custos menores de fabricação e atendendo a demanda cada vez maior do crescente mercado de Barramentos blindados para a construção civil, aeroportos, shopping centers, hospitais e diversas industriais ao redor do mundo. (ZIMMERMANN Bruno, 2019)

Considerando que o grafeno é um dos materiais mais promissores dos últimos tempos, principalmente no tocante a condutividade, dissipação térmica e resistência a corrosão, o grafeno será utilizado como revestimento nas superfícies das barras de alumínio e carcaça de chapa de aço carbono dos Barramentos Blindados (ZIMMERMANN Bruno, 2019)

Quanto a extração, manuseio e manufatura do grafeno ainda será solucionado com um maior tempo de pesquisas e desenvolvimento do material, sendo interessante buscar formas de utilização do grafeno em pequenas escalas para solucionar as problemáticas atuais (ZIMMERMANN Bruno, 2019)

Além da manipulação do grafeno ser desafiadora, sendo altamente suscetível a danos e mudanças estruturais durante a manipulação, ele ainda é uma substância extremamente fina e delicada, que pode ser facilmente danificada por manipulação mecânica, por exemplo. Além de ser altamente sensível a impurezas e contaminantes em sua superfície, o que poderia afetar suas propriedades (ZIMMERMANN Bruno, 2019).

Sendo assim, neste trabalho visa obter resultados substanciais na condutividade elétrica das barras condutoras de alumínio e carcaça dos barramentos blindados após aplicação das camadas superficiais de grafeno com intuito de aumentar a condutividade das barras condutoras e dissipação térmica na carcaça de chapa de aço carbono dos barramentos blindados.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Barras condutoras de Alumínio

As barras de alumínio utilizadas neste trabalho são liga Alumínio 6101 tendo originalmente condutividade IACS de 53 a 59%. Barras foram devidamente adquiridas no mercado na empresa ALUMAX, tendo composição já devidamente descrita neste trabalho contendo aproximadamente Si0,7%, Fe0,5%, Cu0,1%, Mn0,03%, Mg0,8%, Cr0,03%, Zn0,1%, outros 0,03%.

2.2 Grafite

O pó de grafite foi disponibilizado pelo laboratório IEAv CTA ITA SJC, sendo composto de partículas extremamente pequenas, com diâmetros na faixa de nanômetros. É utilizado em revestimentos antiestáticos, como catalisador em reações químicas e em materiais compósitos para melhorar sua resistência mecânica e condutividade elétrica

2.3 Grafeno

Foi disponibilizado o pó de grafeno pelo IP&D da Univap sob lote PL08 na quantidade de 100 gramas.

2.4 Descrição e características técnicas do equipamento utilizado para medição de condutividade

A Figura 1 contém uma fotografia do medidor DC-11M da marca ZAPPI é um equipamento projetado para avaliar a condutividade elétrica de metais não ferrosos com alta precisão. Ele é amplamente utilizado em setores como metalurgia, eletrônica e indústrias que requerem a caracterização de materiais condutores.

A finalidade do detector é a determinação da condutividade elétrica em metais não ferrosos, como alumínio, cobre e ligas metálicas. Adequado para controle de qualidade e avaliação de propriedades elétricas de materiais. Especificações Técnicas: Faixa de medição: Cobertura ampla para metais com condutividades típicas de 10% a 110% IACS (International Annealed Copper Standard). Precisão: Alta precisão para medições consistentes, com tolerância mínima. Display digital: Apresentação clara dos resultados em um painel de fácil leitura. Unidade de medição: Condutividade expressa em %IACS ou MS/m (megasiemens por metro).

Figura 1 – Medidor de condutividade elétrica modelo DC-11M



Fonte: ZAPPI engenharia de medição.

- Precisão: +- 1%.
- Faixa de medição: 5 a 110% IACS.
- Repetibilidade: 0.1 % IACS.
- Resolução: 0.1 % IACS.
- Frequência de operação 60KHZ.
- Espessura mínima da amostra a medir:
 - 0,8 mm para cobre.
 - 1,0 mm para alumínio.
 - 2,5 mm para chumbo.
- Diâmetro mínimo de medição: 10 mm.
- Temperatura de operação: 12 a 35 °C

2.5 Deposição do grafite via Laser Cladding em amostra de barras de alumínio

As barras de Alumínio Liga 6101 pura foram revestidas de grafite através do processo de Laser Cladding primeiramente com uma pintura de grafite, posteriormente a grafite foi ancorada na superfície através do processo de LASER CLADDING no laboratório de fotônica do IEAv CTA – SJC utilizando-se equipamento FH FLYER MARKING HEAD, gerando 6 amostras com diversas resoluções, velocidades e intensidades do laser. A Figura 2- Contêm

fotografia do Laser modelo FH FLYER MARKING HEAD no laboratório de Fotônica do IEAv do CTA ITA.

Diante da realização do processo de laser cladding para a deposição de grafite sobre as barras de alumínio, seguem fatores que foram considerados durante os testes realizados.

A

Tabela 1 contém parâmetros adquiridos de 6 (seis) diferentes amostras de barras de alumínio revestidas de grafite.

Onde os principais parâmetros foram:

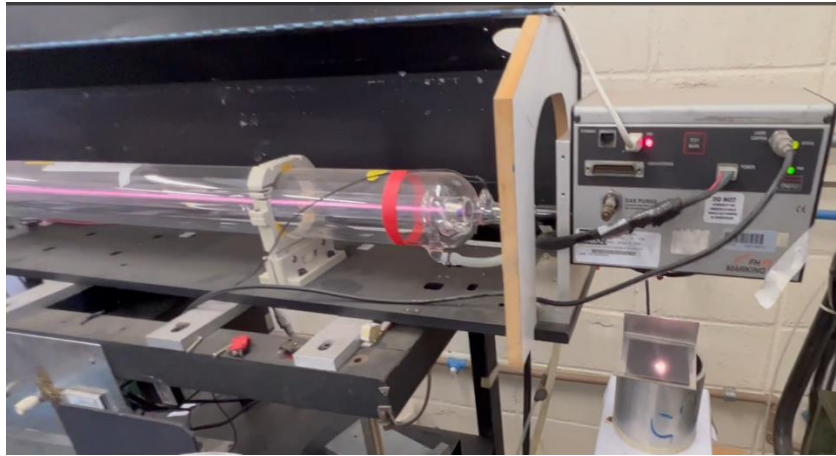
(R) resolução de linhas de deposição laser; (S) Sobreposição de aplicação das linhas, diretamente ligados a definição da aplicação; (V) Velocidade de percurso do Laser; (P) Potência de ajuste do Laser; (d) Ajuste do diâmetro do feixe do laser, de acordo com o equipamento que está sendo utilizado;

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros de aplicação do laser sobre as barras de alumínio

Parâmetros	R (Resolucao) linhas x pol	sobreposicao	V (Velocidade)	P(Potencia)	d (diametro feixe)
Unidade	(Linhas x Pol) mm	%	mm/s	Watts	mm
Figuras					
13(a)	25,4 /300 =0,084	0,084/0,3 = 0,28 = 28%	100 / 200 /300 /400	40	0,2-0,3
13(b)	25,4 /300 =0,084	0,084/0,3 = 0,28 = 28%	100 / 200 /300 /400	50	0,2-0,3
13(c)	25,4 /200 =0,127	0,127/ 0,2= 0,63 = 63 %	100 / 200 /300 /400	40	0,2-0,3
13(d)	25,4 /250 =0,101	0,101/0,25 =0,40 = 40%	100 / 200 /300 /400	40	0,2-0,3
13(e)	25,4 /250 =0,101	0,101/0,25 =0,40 = 40%	100 / 200 /300 /400	70	0,2-0,3
13(f)	25,4 /250 =0,101	0,101/0,25 =0,40 = 40%	200	70	0,2-0,3

Fonte: Produzido pelo autor (2022).

Figura 2- Laser cladding FH FLYER MARKING HEAD Laboratório IEAv CTA ITA

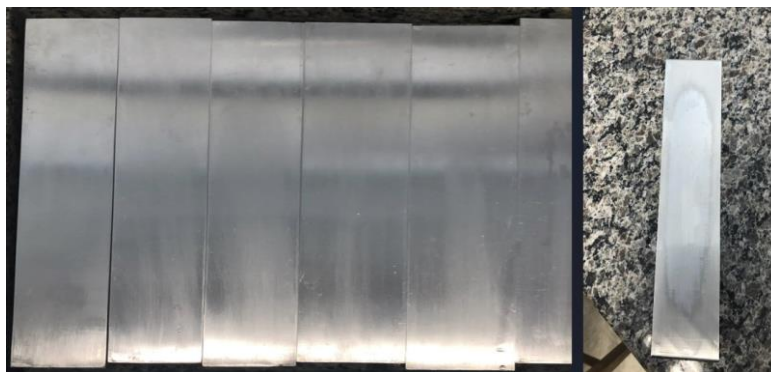


Fonte: Laboratório IEAv CTA ITA (2022).

2.6 Preparação e pintura em amostra de barras de alumínio Liga 6101.

A Figura 3 contém fotografia das barras de alumínio do tipo 6101 nas dimensões (300x80x6) mm é possível observar que as barras de alumínio passaram por um processo de tratamento para limpeza superficial e retirada de impurezas, com o intuito de facilitar a aplicação do grafeno.

Figura 3- Barras de alumínio antes da deposição da solução de grafeno antes do tratamento



Fonte: Produzido pelo autor (2022).

A Figura 3 contém fotografia das barras de alumínio do tipo 6101 nas dimensões (300x80x6) mm já recobertas com o grafeno e prontas para serem testadas no que tangem a condutividade elétrica.

A calibração do equipamento é feita mediante os três padrões de condutividades que acompanham o instrumento, garantindo exatidão e repetibilidade nos resultados. Podem ser fornecidos padrões de Bronze, Latão, diversas ligas de Alumínio, Cobre Fosforoso e Cobre Eletrolítico conforme a necessidade do usuário (ZAPPI engenharia,2020).

3. RESULTADOS

3.1 Resultados da deposição de grafite na superfície das barras de alumínio

A Figura 4 contém 1 fotografia de preparação da pintura das placas de alumínio com grafite. A pintura foi realizada com pistola convencional para posterior tratamento a Laser.

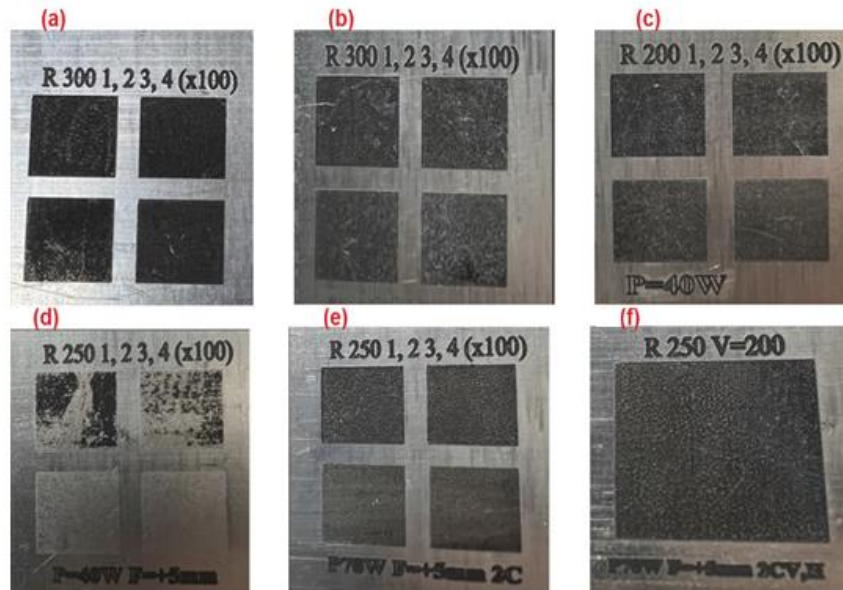
Figura 4 – Barramento após o tratamento com grafeno



Fonte: Produzido pelo autor (2022).

A pós a pintura as placas de alumínio, já secas, apresentadas na Figura 5 foram submetidas ao processo de Laser Cladding. Na Figura 5 pode ser visto 1 fotografia de preparação dos revestimentos com grafite tratados com diferentes parâmetros de laser Cladding na liga de alumínio 6101 pura. A letra “R” significa resolução de linhas de deposição do Laser, os números 1,2,3 e 4, seriam as velocidades do feixe por múltiplos de 100, sendo 1 x 100, 2 x 100, 3 x 100 e 4 x 100 A. Quanto a potência “P” potência utilizada variou entre 40 e 70 Watts.

Figura 5 – Amostras de alumínio revestidos com grafite.



Fonte: Produzido pelo autor (2022).

A Figura 6 contém equipamento de medição de condutividade IACS modelo DC -11M, marca ZAPPI, realizando as medições de condutividade conforme descritas a seguir.

Figura 6- medição de condutividade elétrica das barras revestidas com grafite.



A pintura de grafite foi realizada antes do processo de laser cladding, por pistola de pintura e após, a pintura com grafite, e a barra de alumínio foi testada em seu estado da arte como Liga 6101, tendo sua condutividade em torno de 50,7 IACS.

Foi realizada medição após aplicação do grafite nas barras e obteve-se resultado de 50,8 IACS. Este resultado se mantém dentro da incerteza de medição do equipamento em torno de $\pm 5\%$

3.2 Resultados da aplicação de solução de grafeno nas barras condutoras de alumínio através de pintura

Considerando as mesmas dimensões das barras condutoras de alumínio utilizadas para os experimentos com Grafite (300x80x6) mm foram realizados revestimentos de grafeno preparados com uma mistura de álcool e carboximetilcelulose (CMC) aplicados com solução aquosa sob a superfície das barras de alumínio. Após aplicação o material foi deixado em estufa para secar sem que ocorresse contaminação por poeira ou partículas do ambiente.

A Figura 7 contém uma fotografia da medição de condutividade elétrica na barra de Alumínio liga 6101 com revestimento de Grafeno. Pode ser visto na Tabela 2 a variação da medição de condutividade com valores de 46,95 a 53,33 IACS, sendo questão variação pode ser inerente a presença de oxidação durante o processo de laser cladding pelo fato do processo ser em atmosfera ambiente, podendo ser melhorado com pressão contínua de gás inerte.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros das medições de condutividade elétricas expressos em IACS e (M*S/m)

Parâmetros	Condutividade (IACS)	Condutividade eletrica (M*S/m)
16(a)	53,33	30,93
16(b)	51,78	30,03
16(c)	46,95	27,23
16(d)	50,08	29,04

Figura 7 – Exemplo de medição de condutividade elétrica das barras revestidas com grafeno



Fonte: Produzido pelo autor (2022).

3.3 Resultados da medição de corrente nominal, de acordo com a Norma de barramentos blindados ABNT NBR IEC 61.439-6

Considerando a tecnologia de condutores de energia conhecida como barramentos blindados conforme já descrito anteriormente neste trabalho, com o intuito de explorar complementarmente as propriedades do grafeno, foram realizados ensaios de elevação de temperatura como ensaios complementares visando identificar se através destes testes possam resultar em comparativo às medições de condutividade elétrica já descritas neste trabalho.

O modelo de barramentos blindado utilizado nesta etapa do trabalho foi o modelo “Sandwich type” ou “Compacto” grau de proteção IP-55, justamente por ser um modelo com características de grande eficiência no que tange as perdas elétricas, bem como reatância indutiva e campo magnético induzido na carcaça praticamente nulos (DO Wiley 2011).

A Figura 8 contém uma fotografia do arranjo físico de ensaio de elevação de temperatura na corrente nominal, de acordo com Norma ABNT NBR IEC 61.439-6. Podem ser vistos 2 corpos de prova de (3.000 x 80 x 6) mm cada um, unidos por uma peça central denominada monobloco, e alimentação de entrada denominada “flange de alimentação”

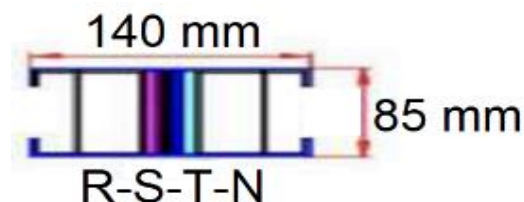
Figura 8 – Arranjo físico do experimento



Fonte: Produzido pelo autor (2022).

A Figura 9 contém um desenho esquemático da vista interna das fases das barras de alumínio: R-S-T-N, pode-se observar complementarmente as dimensões externas deles.

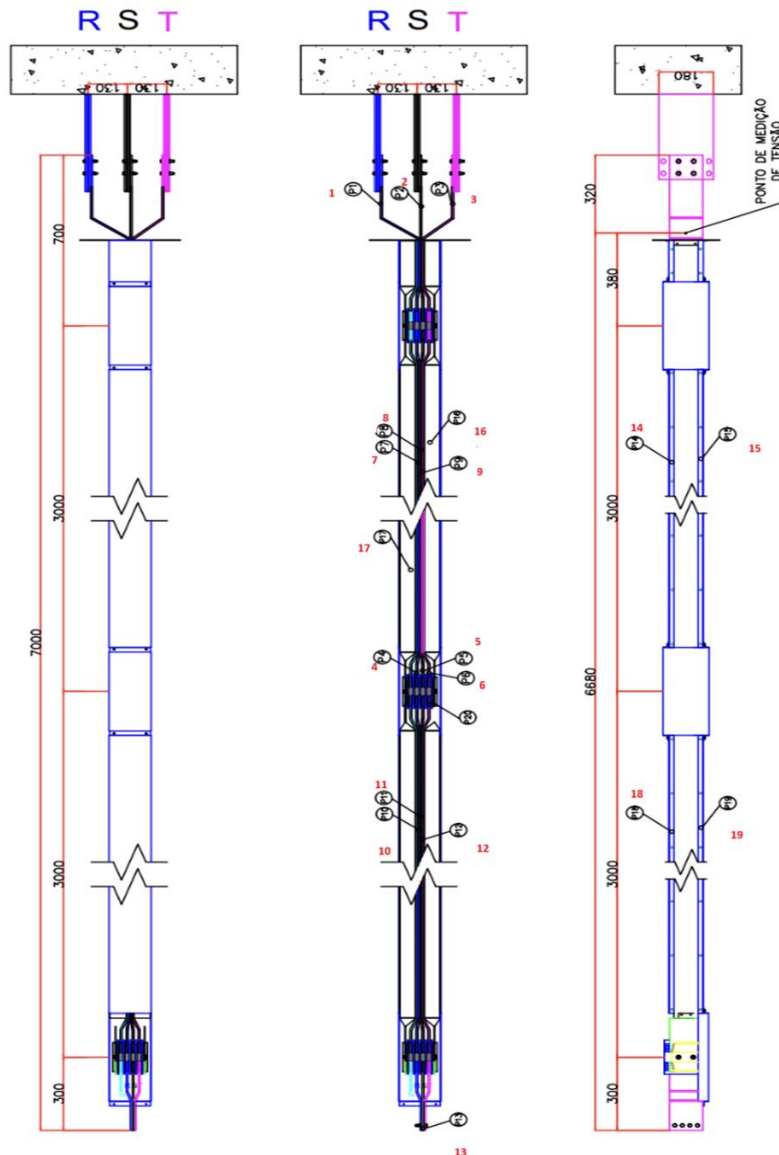
Figura 9 Dimensões Barramento blindado de 1000 A



Fonte: Produzido pelo autor (2022).

A Figura 10 contém um desenho esquemático do arranjo físico de ensaio de elevação de temperatura conforme norma ABNT NBR IEC 61.439-6, sendo exigido um comprimento total do corpo de prova com dimensões com comprimento mínimo de 6.000 mm, portanto testes realizados com dimensões (7.000 x 80 x 6) mm. Tendo alimentação de energia devidamente identificado o lado da fonte como R-S-T respectivamente. (Produzido pelo Autor 2022).

Figura 10- Desenho do arranjo físico de ensaio de elevação de temperatura



Fonte: Produzido pelo Autor (2022).

De acordo com norma ABNT NBR IEC 61.439-1, Tabela 3. os limites de elevação de temperatura para superfícies metálicas em uso normal, mas que não necessitam ser tocadas durante operação de funcionamento podem ter a seguinte temperatura na parte externa dos barramentos blindados (35°C (limite de temperatura ambiente) + 30°C (superfícies metálicas) + 25°C (superfície que não necessita, ser tocadas em operação normal)), totalizando temperatura máxima de 90°C , como pode ser visto na tabela 3 pode-se constatar os resultados de um equipamento bem dimensionado, contudo visando maximizar a dissipação térmica e condutividade elétrica estaremos revestindo as barras condutoras de alumínio com grafeno como revestimento de superfície, visando melhoria da condutividade elétrica e condutividade térmica.

Tabela 3 contém os resultados das temperaturas na realização dos testes de elevação de temperatura percorrendo a corrente nominal de 1.000 A nas barras condutoras de alumínio

liga 6101 com dimensões (7.000 x 80 x 6) mm com revestimento superficial contra corrosão galvânica e oxidação, conforme Figura 5. Estes ensaios são realizados com a finalidade de projetar condutores de energia em alumínio para terem uma corrente nominal próximo aos limites de densidade de corrente máximos permitidos para o condutor de alumínio especificamente. Modelo do barramento blindado “Compacto” grau de proteção IP-55 e corrente nominal de 1.000 A.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de elevação de temperatura nos barramentos blindados sob liga 6101 com revestimento superficial contra corrosão galvânica e oxidação, conforme Figura 5.

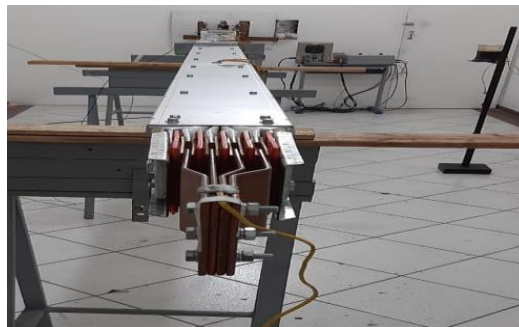
Verificação em 100% de carga:											
Corrente de ensaio CMAX: 1.000 A / Duração do ensaio até estabilização: 7 horas.											
Ponto de medição:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temperatura de estabilização:	44,2°C	41,9°C	40,9°C	73,4°C	76,2°C	85,7°C	86,2°C	81,1°C	70,5°C	81,7°C	88,3°C
Ponto de medição:	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Temperatura de estabilização:	79,0°C	61,3°C	56,9°C	58,3°C	59,2°C	66,3°C	59,5°C	55,0°C	67,2°C	26,0°C	26,0°C
Local de medição:	de	Especificado máximo	(ΔT)	Temperatura média (°C)							
				Estabilização:				ΔT			
Ambiente		---		26,00°C				---			
Conexão de entrada				42,33°C				16,33°C			
Emenda central		Não Fornecido		78,43°C				52,43°C			
Barra central 1ºtrecho			79,26°C				53,26°C				
Barra central, 2ºtrecho			83,00°C				57,00°C				
Involucro, 1ºtrecho			55	60,17°C				34,17°C			
Involucro, 2ºtrecho		55	57,25°C				31,25°C				

Tabela 4 contém os resultados das temperaturas na realização dos testes de elevação de temperatura percorrendo a corrente nominal de 1.000 A nas barras condutoras de alumínio liga 6101 com dimensões (7.000 x 80 x 6) mm com revestimento de pintura de grafeno. Modelo do barramento blindado “Compacto” grau de proteção IP-55 e corrente nominal de 1.000 A.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de elevação de temperatura nos barramentos blindados com revestimento superficial através de pintura de grafeno

Verificação em 100% de carga: Corrente de ensaio CMAX: 1.000 A / Duração do ensaio até estabilização: 7 horas.											
Ponto de medição:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temperatura de estabilização:	39,63°C	37,14°C	36,53°C	67,79°C	70,50°C	79,72°C	80,28°C	75,40°C	65,05°C	75,82°C	83,10°C
Ponto de medição:	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Temperatura de estabilização:	73,26°C	56,31°C	51,93°C	53,22°C	54,07°C	60,89°C	54,35°C	50,07°C	61,85°C	23,00°C	23,00°C
Local de medição:	de	Especificado máximo	(ΔT)	Temperatura média (°C)							
				Estabilização:				ΔT			
Ambiente		---		23,00°C				---			
Conexão de entrada				37,85°C				14,85°C			
Emenda central		Não Fornecido		71,66°C				48,66°C			
Barra central 1ºtrecho				73,36°C				50,36°C			
Barra central, 2ºtrecho				76,98°C				53,98°C			
Involucro, 1ºtrecho		55		55,13°C				32,13°C			
Involucro, 2ºtrecho		55		52,19°C				29,19°C			

Figura 11- Desenho do arranjo físico de ensaio de elevação de temperatura com barras de alumínio com revestimento em grafeno, porém involucro em chapa de aço galvanizado sem revestimento.



Fonte: Ensaio elevação temperatura laboratório ITEN – SP Abril (2023).

4. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou os tipos de materiais condutores e suas possíveis ligas, bem como a aplicação de grafite e grafeno na superfície das barras condutoras de alumínio liga 6101, para tanto utilizamos inicialmente barras de alumínio com dimensões de (300x80x6) mm para realizar deposição de grafite através de métodos de *laser cladding*, posteriormente foi realizada medição de condutividade onde pode-se constatar a variação de 50,7 IACS para 50,8 IACS, obtendo-se desta forma um resultado com variação de menos de 0,1%.

O medidor de condutividade possui calibração para medir materiais ferrosos condutores, como ouro, cobre e alumínio. Entretanto os equipamentos existentes na atualidade não conseguem medir com precisão a superfície opaca e de coloração acinzentada e após a deposição do grafite através dos métodos de *laser cladding*. Obteve-se resultado de 53,3 IACS, em seguida após aplicação da pintura de grafeno na superfície das barras obtivemos resultados de condutividade elétrica de 46,95 IACS (barra 1) e 50,08 IACS (barra 2) e respectivas velocidades no material de 27,23 e 29,04 MS/m.

Quanto as características técnicas dos atuais equipamentos de medição de condutividade elétrica, possuem grande incerteza nas medições realizadas, principalmente pelo fato de não existir blocos de calibração para superfície de grafeno, nem grafite, resultando em valores de condutividade comparáveis as ligas de alumínio pura, no estado da arte.

Ao final deste processo conjectura-se a eficiência das medições de condutividade através de um aparelho de medição que depende de referências de superfícies reflexivas como o Cobre e Alumínio. Talvez o fato de ter uma superfície escurecida e nenhum equipamento conhecido no mercado poderia medir acima de 58 MS/m e nem acima de 100% IACS realmente nos leva a reposicionar a análise de condutividade de corrente elétrica para outras possíveis formas de analisar seus resultados, pois as barras de alumínio nem mesmo altamente impregnadas através da aplicação de grafite pelo processo de Laser Cladding ou pintura de solução de grafeno na superfície das barras tenham o resultado correto no que se refere a condutividade propriamente dita.

Buscando outras formas de obter resultados com a aplicação do grafeno na superfície das barras de alumínio e entender se condutividade elétrica e térmica seriam otimizadas pela aplicação do grafeno na superfície das barras de alumínio foram realizados ensaios de ensaio de elevação de temperatura, que consiste basicamente em percorrer a corrente nominal para o qual as barras de alumínio com medidas de (80x6) mm foram projetadas de acordo com a ABNT NBR IEC 61.439-6

Foram observadas elevações de temperaturas para os ensaios realizados no

barramento blindado de 1.000 A com suas barras internas somente com revestimento superficial contra corrosão galvânica e oxidação, conforme Figura 5. Resultando assim numa temperatura final máxima em torno de 86 °C num dos pontos da extensão dos corpos de prova, bem como uma temperatura ambiente de 26 °C.

Finalmente, após aplicação de pintura com solução de grafeno na superfície das barras condutoras, bem como no Monobloco de junção dos elementos retos, foram realizados novamente os ensaios de elevação de temperatura de acordo com ABNT NBR IEC 61.439-6.

Considerando os resultados do ensaio de temperatura, pode-se inferir uma projeção de aumento de 5 a 10% da corrente efetiva a ser percorrida nos condutores de alumínio. Desta forma, poderíamos percorrer até 1100 amperes.

REFERÊNCIAS

ZARBIN, A. J. G.; OLIVEIRA, M. M. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno). **Rev. Quim. Nova**, Vol. 36. 10, 1533-1539, 2013.

Livia Cunha, **Barramentos blindados**. rev. setor elétrico, ed. 41jun 2009.

Aluminum association, inc. databook (AA), 2000

ZIMMERMANN, Bruno Leonardo Schmitz. **Características e vantagens da aplicação do barramento blindado em comparação ao sistema de cabeamentos**. 2019. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.