

Universidade Federal de Santa Catarina
Atividades de Pesquisa
Formulário de Tramitação e Registro

Situação: **Aprovação/Depto Coordenador**
 Protocolo nº: **2013.1061**

Relatório Final

Situação da Atividade:	Atividade ainda em andamento
------------------------	------------------------------

Título:	Funcionalização de Nanotubos de Carbono (NTC) e obtenção de compósitos com NTC - fibra de vidro/epóxi para blindagem eletromagnética
Resumo:	A potencialidade da impregnação de Nanotubos de Carbono (NTC) como centros ativos em compósitos de fibra de vidro/epóxi para obtenção de materiais especiais utilizados para blindagem eletromagnética é um tema que vem despertando um forte interesse no setor aeronáutico/aeroespacial. A adequada inserção dos NTC pode aliar a funcionalidade específica e influenciar positivamente nas propriedades físico-mecânicas da peça fabricada. Frente estas vantagens e potencial de aplicação, o presente projeto visa obter de maneira controlada um material compósito de alto desempenho formado por NTC-fibra de vidro/epóxi para aplicação como barreira eletromagnética. O projeto está dividido em cinco atividades principais: (1) Montagem de aparato experimental para obtenção de compósitos via Moldagem por Transferência de Resina com auxílio de vácuo (VARTM), (2) Funcionalização dos NTC e caracterização, (3) Deposição direta e via spin coating dos NTC funcionalizados em tecidos de fibra de vidro, (4) Avaliação dos parâmetros de processo e produção do compósito e (5) Caracterização dos compósitos via ensaios mecânicos e da radiação eletromagnética incidente. No decorrer das atividades estudos paramétricos serão realizados, avaliando-se os diferentes agentes de acoplamentos, metodologias de deposição de NTC e aspectos do processo de obtenção dos compósitos. O projeto tem um prazo estipulado de 36 meses de execução e conta com a Coordenação do Professor Gabriel Benedet Dutra. Os resultados esperados dispõem a obtenção de um material compósito de alto rendimento para blindagem eletromagnética, contribuindo para a formação de um grupo de pesquisa especializado na área de obtenção e caracterização de materiais compósitos especiais para o setor aeronáutico e aeroespacial.
Palavras chave: (máximo 5)	nanotubos de carbono (NTC); Moldagem por transferência de resina com auxílio de vácuo (VARTM;) funcionalização; spin coating; NTC-fibra de vidro/epóxi; blindagem eletromagnética
Grande Área do conhecimento:	Engenharias
Área do conhecimento:	Engenharia Aeroespacial
Nome do Grupo de Pesquisa: (CNPq - Diretório)	
Está vinculado a outro projeto de pesquisa?	
Período de realização:	09/15/2013 a 08/15/2016
A atividade receberá algum aporte financeiro?:	Não
Propriedade Intelectual (o resultado do projeto é ou poderá ser protegido por):	

■ ■ ■ **Envolvidos neste projeto de pesquisa**

Coordenador	
-------------	--

Nº do SIAPE:	2047563
Nome do Coordenador:	Gabriel Benedet Dutra
CPF do Coordenador:	4862243924
Departamento:	CAMPUS DE JOINVILLE
Centro:	CAMPUS DE JOINVILLE
Regime de trabalho:	DE
Fone de contato:	4896739703
E-mail:	gabriel.d@ufsc.br
Carga horária semanal nesta atividade:	3,0 horas
Receberá remuneração nesta atividade de pesquisa?	Não

Você gostaria de participar do guia de fontes da UFSC?	Não
--	-----

Outros prof. ou servidores da UFSC envolvidos?	Não
Alunos da UFSC envolvidos?	Não
Pessoas externas à UFSC envolvidas?	Não

Outras Considerações
O projeto foi submetido a editais na área de atuação. No momento ainda está em fase de revisão bibliográfica. No dia 26.08.2103 o Projeto foi submetido ao CNPQ Chamada Nº 22/2013 MCTI/CNPq/CT-Aeronáutico/CT-Espacial - Apoio ao Desenvolvimento Científico, Tecnológico e de Inovação no Setor Aeroespacial. No dia 27/11/2013, o resultado da submissão do projeto foi informado, sendo que o mesmo não foi aprovado. Algumas otimizações estão sendo realizadas para submissão em outras agências de fomento à pesquisa e outros editais.

Nº do Processo:	2013.1061
-----------------	-----------

Chamada MCTI/CNPq/CT-Aeronáutico/CT-Espacial No 22/2013 – Apoio ao Desenvolvimento Científico, Tecnológico e de Inovação no Setor Aeroespacial

Descrição detalhada do Projeto

Funcionalização de Nanotubos de Carbono (NTC) e obtenção de compósitos com NTC - fibra de vidro/epóxi para blindagem eletromagnética

Coordenador: Gabriel B. Dutra

Instituição Executora: Universidade Federal de Santa Catarina

Joinville, Agosto de 2013

Sumário

Resumo.....	3
1. Identificação da Proposta.....	4
2. Qualificação do principal problema a ser abordado	4
3. Objetivo Geral	6
3.1 Objetivo Geral	6
3.2 Objetivos Específicos.....	6
4. Metodologia	7
5. Principais Contribuições Científicas e Tecnológicas.....	10
6. Orçamento detalhado	11
7. Cronograma físico-financeiro.....	12
8. Participantes do Projeto.....	13
9. Infraestrutura	14
10. Estimativa de recursos financeiros de outras fontes	14
11. Referências.....	15

Resumo

A potencialidade da impregnação de Nanotubos de Carbono (NTC) como centros ativos em compósitos de fibra de vidro/epóxi para obtenção de materiais especiais utilizados para blindagem eletromagnética é um tema que vem despertando um forte interesse no setor aeronáutico/aeroespacial. A adequada inserção dos NTC pode aliar a funcionalidade específica e influenciar positivamente nas propriedades físico-mecânicas da peça fabricada. Frente estas vantagens e potencial de aplicação, o presente projeto visa obter de maneira controlada um material compósito de alto desempenho formado por NTC-fibra de vidro/epóxi para aplicação como barreira eletromagnética. O projeto está dividido em cinco atividades principais: (1) Montagem de aparato experimental para obtenção de compósitos via Moldagem por Transferência de Resina com auxílio de vácuo (VARTM), (2) Funcionalização dos NTC e caracterização, (3) Deposição direta e via spin coating dos NTC funcionalizados em tecidos de fibra de vidro, (4) Avaliação dos parâmetros de processo e produção do compósito e (5) Caracterização dos compósitos via ensaios mecânicos e da radiação eletromagnética incidente. No decorrer das atividades estudos paramétricos serão realizados, avaliando-se os diferentes agentes de acoplamentos, metodologias de deposição de NTC e aspectos do processo de obtenção dos compósitos. O projeto tem um prazo estipulado de 36 meses de execução e conta com a Coordenação do Professor Gabriel Benedet Dutra. Os resultados esperados dispõem a obtenção de um material compósito de alto rendimento para blindagem eletromagnética, contribuindo para a formação de um grupo de pesquisa especializado na área de obtenção e caracterização de materiais compósitos especiais para o setor aeronáutico e aeroespacial.

Palavras-Chave: nanotubos de carbono (NTC), Moldagem por transferência de resina com auxílio de vácuo (VARTM,) funcionalização, *spin coating*, NTC-fibra de vidro/epóxi, blindagem eletromagnética.

1. Identificação da Proposta

Referência do Edital: Chamada MCTI/CNPq/CT-Aeronáutico/CT-Espacial No 22/2013 – Apoio ao Desenvolvimento Científico, Tecnológico e de Inovação no Setor Aeroespacial

Proponente: Gabriel Benedet Dutra, Dr.- Ing

CPF: 048.622.439-24

Instituição do proponente: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Título de Projeto: Funcionalização de Nanotubos de Carbono (NTC) e obtenção de compósitos com NTC - fibra de vidro/epóxi para blindagem eletromagnética

Valor solicitado: R\$ 143.150,00

2. Qualificação do principal problema a ser abordado

A fibra de vidro impregnada em resina epóxi possui um baixo valor de tangente de perda dielétrica, entretanto quando combinada com centros ativos pode apresentar características de absorvedores de radiação eletromagnética, podendo ser largamente empregados na indústria civil e militar, principalmente para redução de problemas de compatibilidade e interferência eletromagnética. No setor aeroespacial e aeronáutico, materiais com características absorvedoras de radiação eletromagnética (MARE) são empregados para reduzir a assinatura radar de aeronaves militares e também possibilitam blindar componentes eletrônicos da interferência da radiação externa (Rezende 2000). Em vários estudos, associam-se centros de perdas à base de carbono em matrizes poliméricas com o intuito de constituírem materiais absorvedores de radiação eletromagnética na faixa de frequência de micro-ondas (Chung 2011). Na literatura, a utilização de nanotubos de carbono (NTC) como centro ativos já vem sendo explorada, pois além de funcionalizar o material, os NTC aliam condutividade elétrica com excelentes propriedades mecânicas, devido sua estrutura praticamente livre de falhas e elevada razão aspecto (comprimento-diâmetro). Diante desta potencialidade de aplicação, diferentes grupos de pesquisa vem investigando diferentes rotas de impregnação de NTC em compósitos. Em 2007, Park et. al 2007, publicou um artigo no qual utilizou uma ferramenta computacional para simular a eficiência da blindagem para faixas entre 300 MHz a 1 GHz utilizando NTC em fibra de vidro e resina epóxi, neste trabalho foi constatado que a

eficiência da blindagem aumenta com a espessura e o teor de NTC para valores superiores a 90%. Em pesquisa mais recente, Lee et al 2011, relataram o crescimento de NTC sobre fibras de vidro e descreveram que a condutividade elétrica dos mesmos influenciou significativamente na atenuação eletromagnética do compósito, a faixa avaliada foi de 0 GHz a 6 GHz e os valores de absorção foram superiores a 70%. Em 2012, Mehldipor et al, testaram diferentes fornecedores de NTC de carbono em diferentes teores em matriz de resina epóxi, atingindo faixas de frequência até 26 GHz, os autores concluíram que a eficiência de blindagem com a utilização de NTC aumenta drasticamente, o que faz despertar ainda mais o interesse deste material pelos setores aeronáutico e aeroespacial.

Um fator em comum encontrado em pesquisas que tratam de NTC são os cuidados que devem ser tomados durante o processamento para uma impregnação acertada nas matrizes ou em fibras. A sinergia das propriedades de um material compósito é controlada pelas interações presentes entre os componentes internos dos mesmos. Na área de nano-compósitos, esta problemática é acentuada devido a tendência de aglomeração dos reforços pela enorme área superficial disponível. As excelentes propriedades mecânicas e físicas apresentadas pelos NTC só podem ser macroscopicamente exploradas na garantia de uma dispersão adequada e uma boa interação com a matriz envolvida. Diante desta premissa, pesquisadores vem procurando rotas que alcancem o comportamento ideal do reforço. Basicamente, os trabalhos reportados utilizam variadas metodologias de mistura NTC e matriz, com posterior etapa de produção dos compósitos, e.g laminação de *prepegs* (Chang 2012), sintetizar NTC sobre fibras (Lee 2011), RTM com orientação (Fan 2008), eletrodeposição e deposição direta (da Silva 2011).

Uma das maneiras de ampliar a adesão dos NTC à matriz é promover a funcionalização dos mesmos com agentes de acoplamento. Com este intuito, Godara et. al 2010, utilizou NTC pré-tratados com silanos para aumentar a resistência interlaminar. Os resultados demonstraram que a resistência ao cisalhamento na interface matriz/reforço aumentou com a presença dos grupos orgânicos. Mais recentemente, em 2013, Chun Yu Lai, publicou resultados de NTC funcionalizados com grupos carboxila, onde a presença dos grupos funcionais melhorou a ligação entre NTC e matriz, o que conseqüentemente refletiu positivamente nos propriedades do compósito. A funcionalização de NTC não vem sendo tratada somente em artigos científicos, diante dos resultados promissores e potencialidade de aplicações, alguns grupos têm depositado patentes sobre o tema, como é possível verificar nas patentes EP1660405B1-2006 na Europa, e em US8187703-2012 nos Estados Unidos.

Além da funcionalização, a correta dispersão e deposição dos NTC sobre fibras de vidro irá impactar sobre a funcionalidade do mesmo. Sob esta perspectiva, a técnica de deposição via *Spin Coating* será utilizada. Os trabalhos de Meitl et al. 2004 e Chiu et al. 2013 descrevem a preparação de camadas espessas compostas por NTC utilizando a técnica de *Spin Coating* através de diferentes rotas e em substratos sólidos distintos. Esta técnica de preparação de filmes sólidos é conhecida pela simplicidade e baixos custos de operação, necessitando de uma infraestrutura básica de química e um equipamento para o crescimento dos filmes em substratos sólidos através da rotação. Os resultados da literatura indicam a formação de camadas uniformes formadas por redes de NTC.

Com base nos avanços recentes na área e a potencialidade de aplicação, o presente projeto irá realizar um estudo sistemático sobre a funcionalização de NTC, seguido por uma deposição controlada via *spin coating* nas fibras de vidro e a obtenção de compósitos via VARTM com propriedades de absorção de radiação eletromagnética. Além disso, os reflexos da adição dos NTC nas propriedades mecânicas também serão avaliados. Detalhes envolvendo a metodologia e as atividades propostas estão descritos na sequência.

3. Objetivo Geral

3.1 Objetivo Geral

Obter um material compósito através da impregnação de nanotubos de carbono para aplicação na indústria aeronáutica/aeroespacial com propriedade de absorção de radiação eletromagnética aliada com adequadas propriedades físico-mecânicas.

3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um equipamento para obtenção de compósitos via Moldagem por transferência de resina com auxílio de vácuo (VARTM) em escala laboratorial.
- Avaliar os diferentes agentes de acoplamento para funcionalização dos NTC.
- Estudar a técnica de *Spin Coating* para preparar camadas formadas por redes de NTC

- Depositar NTC sobre fibras de vidro utilizando-se diferentes técnicas, realizando uma investigação paramétrica da quantidade de insumos e do processo utilizado VARTM.
- Caracterizar os compósitos obtidos mecânica e microestruturalmente.
- Caracterizar os compósitos obtidos quanto a sua absorção da radiação eletromagnética na faixa de frequências de micro-ondas.

4. Metodologia

A presente proposta baseia-se na sequência de atividades descritas abaixo:

Atividade 1: Montagem de aparato experimental para obtenção de compósitos via Moldagem por Transferência de Resina com auxílio de vácuo (VARTM)

Com intuito de montar um laboratório experimental especializado na produção de compósitos para indústria aeroespacial, aeronáutica e naval, contando com diferentes rotas de fabricação, um equipamento laboratorial de VARTM será montado pela equipe executora do projeto proposto. O Centro de Engenharias da Mobilidade, da Universidade Federal de Santa Catarina, localizado na cidade de Joinville/SC, conta com cursos de Graduação na área de Engenharia Naval, Engenharia Automobilística, Engenharia Aeroespacial entre outros. Este laboratório de compósitos irá auxiliar às pesquisas aplicadas e a formação de Engenheiros atualizados nas recentes descobertas e aplicações de materiais. O processo VARTM apresenta algumas vantagens, como alto teor de reforços que podem ser inseridos no compósitos, alta produtividade e baixos valores de poros, caso os parâmetros sejam adequadamente controlados. Para esta atividade, um time com experiência em processamento em compósitos será responsável pela montagem do equipamento, o qual contará com uma bomba de vácuo, um compressor, controladores, medidores e transdutores de pressão, molde inferior em compósito e superior em vidro, assim como dutos de pressão. Para reduzir os custos envolvidos no ferramental, os compósitos manufaturados serão pós curados em estufa, sendo assim, o equipamento não contará, a princípio, com sistema de aquecimento de molde.

Atividade 2: Funcionalização dos NTC e caracterização

Para funcionalização dos NTC diferentes agentes de acoplamento serão analisados. Três grupamentos funcionais serão avaliados, sendo eles: silanos, aminosilanos e carboxilas. A

interação entre estes grupos e os NTC será investigada via microscopia eletrônica de transmissão (TEM) e infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR). A formação dos grupos funcionais pode auxiliar na interação entre NTC - fibra de vidro, assim como NTC - resina epóxi. As caracterizações serão realizadas juntos a laboratórios parceiros (vide capítulo 8).

Atividade 3: Deposição direta e via spin coating dos NTC funcionalizados em tecidos de fibra de vidro

A deposição apropriada dos NTC pode ser item fundamental para o sucesso da aplicação do compósito. Considerando esta importância, diferentes metodologias serão investigadas neste projeto. A dissolução dos NTC em meio líquido e o controle das propriedades reológicas serão aspectos utilizados nesta etapa. A primeira técnica estudada será a deposição direta, uma forma de baixo custo e rápida aplicação, entretanto, pode sofrer com filmes heterogêneos, assim como excessiva utilização e aglomeração dos NTC. Com o intuito de utilizar uma técnica que alcance camadas mais finas e homogêneas, a metodologia de *spin coating* será avaliada, a qual se caracteriza por uma técnica avançada que não necessita de ambiente com pressão e temperatura controlados. O processo básico desta técnica envolve 3 passos: a) preparação de solução contendo os NTC diluídos em solvente apropriado; b) espalhamento da solução através de rotação em substrato sólido e plano; c) secagem do excesso de solvente resultando no acúmulo de uma distribuição de NTC na superfície do substrato. A repetição do processo modifica a quantidade de NTC e, portanto, a espessura da camada. Um fator determinante na estrutura formada é a velocidade de rotação de espalhamento da solução, tipicamente superiores a 1000 rotações por segundo. A técnica deve otimizar o espalhamento dos NTC e controlar de maneira mais sistemática sua deposição sobre a fibra de vidro. Além de diferentes metodologias de deposição, diferentes teores do aditivo serão incorporados, variando de 0 a 10% em massa. Como constatado por outros grupos de pesquisa, a concentração de NTC irá influenciar diretamente os resultados obtidos e possivelmente afetar as propriedades mecânicas do compósito.

Atividade 4: Avaliação dos parâmetros de processo e produção do compósito

Após a etapa de montagem do aparato experimento (Atividade 1) e funcionalização e deposição de NTC sobre fibras de vidro (Atividade 2 e Atividade 3 respectivamente), amostras

de compósito NTC-Fibra de vidro/epóxi serão manufaturadas. O sucesso do processo VARTM é dependente de vários parâmetros, de forma a obter uma amostra homogênea, em termos da distribuição da resina, controle de dosagem, velocidade e forma de escoamento do fluxo entre outros. Uma avaliação paramétrica será realizada para ajuste de processo, de forma a garantir a obtenção de compósitos de alto desempenho. Os compósitos moldados serão posteriormente pós-curados em estufa e o índice de cura da resina em função do tempo-temperatura será avaliado. O aumento no grau de reticulação da resina faz com que ocorra um decréscimo na flexibilidade das cadeias do polímero, e portanto, essas são menos susceptíveis de se alinhar em conformações que reduzem as tensões internas que são produzidas durante o processo de cura, resultando em um alto módulo elástico e consequente dureza da resina. Para avaliar a evolução do grau de reticulação um medidor de dureza BARCOL será aplicado nas caracterizações.

Atividade 5: Caracterização dos compósitos via ensaios mecânicos e da radiação eletromagnética incidente.

A caracterização mecânica dos compósitos obtidos com o desenvolvimento do presente estudo será realizada junto aos laboratórios parceiros ao projeto. As principais técnicas utilizadas para a caracterização mecânica e de absorção eletromagnética dos materiais serão:

- Ensaio de tração estático: O ensaio será realizado conforme a norma internacional ASTM D3039, com um amostragem de 5 corpos de prova em cada condição estudada.
- Ensaio de flexão estático: O ensaio pretende ser realizado conforme a norma internacional ASTM D790, com um amostragem de 5 corpos de prova por condição estudada.
- Ensaio de impacto Izod: O ensaio pretende ser realizado em corpo de prova entalhado conforme a norma internacional ASTM D256. Os entalhes serão realizados de acordo com a mesma norma.
- Caracterização de absorção eletromagnética: este ensaio será realizado utilizando um analisador vetorial e escalar de redes acoplado a um guia de ondas, localizado no Laboratório de Caracterização Eletromagnética da Divisão de Materiais do Instituto de Aeronáutica e Espaço do Centro Técnico Aeroespacial (IAE/CTA) em São José dos Campos.
- Caracterização Microscópica: análises superficiais dos compósitos obtidos serão realizadas utilizando um equipamento de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

do Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME), de carácter multiusuário da Universidade Federal de Santa Catarina.

- Caracterização de propriedades elétricas: Propriedades de condutividade elétrica serão medidas utilizando equipamento existente no campus de Joinville, obtido através de financiamento à pesquisa da FAPESC, através do edital Universal de 2012. O arranjo é baseado em uma unidade com fonte de corrente, fonte de tensão, multímetro, acoplados (Source Meter Keithley 2400), podendo ser empregado para medir valores de resistividade e levantar comportamentos de corrente elétrica em função da voltagem.

5. Principais Contribuições Científicas e Tecnológicas

Os principais resultados esperados deste projeto são:

- Montagem de equipamento VARTM laboratorial para suporte em pesquisas acadêmicas.
- Adquirir conhecimento na área de Materiais Especiais Nanoestruturados, com formação de grupo de pesquisa no campo, focados na grande área da Aeronáutica, Aeroespacial, e Naval.
- Otimização de propriedade mecânicas e eletromagnéticas em compósitos pela adição de NTC.
- Desenvolvimento de MARE com características diferenciadas dos materiais absorvedores convencionais, com maior eficiência associada com menor peso e espessura, com carácter inovador.
- Estudar o desenvolvimento de uma técnica simples e de baixo custo para a preparação de nanoestruturas e materiais na forma de filme fino
- Estudar propriedades de NTC, redes de NTC, compósitos contendo NTC.
- Desenvolvimento de pesquisa de carácter inovador com potencial para geração de patentes e artigos nacionais e internacionais.
- Participação em eventos e apresentação dos resultados.

6. Orçamento detalhado

A Tabela 1 apresenta o orçamento detalhado para o desenvolvimento dos trabalhos propostos no presente projeto. Nesta tabela estão descritos os itens de capital, itens de custeio e bolsas solicitadas.

Tabela 1 – Orçamento previsto no projeto.

Itens de Capital	Detalhamento	Valor
Montagem Equipamento VARTM	<ul style="list-style-type: none"> - Dutos R\$ 3.000,00 - Compressor Industrial Alta Pressão - MSV 30/350 Max 350 litros - Pressão 175lbf 30 pés³/min 7,5HP : R\$ 6.500,00, - Bomba de vácuo Edwards: R\$ 8.000,00 - Controlador de pressão: R\$ 5.000,00 - Molde em compósito (parte inferior): R\$ 1.600,00 - Molde em vidro (parte superior): R\$ 3.400,00 - Medidores de pressão: R\$ 500,00 - Esmerilhadeira Angular Pneumática 5 Pol. REF.SCHULZ-SFDC11 – R\$ 450,00 - Lixadeira de Alta Rotação 5 Pol. REF.CHIAPERINI-CHL-18L – R\$ 90,00 - Serra de Disco Pneumático REF.WAFT-6188 – R\$ 110,00 - 3 x Mangueira de Nylon de 7m para encaixe de 3/8 REF.ARCON-MEN-770 – R\$ 100,00 medidor de pressão, software de aquisição de dados, equipamento de aquisição de dados 	R\$ 28.750,00
Sistema de aquisição de dados	-4 Transdutores de pressão 0-50 bar, Datalogger (5 canais de entrada e taxa de amostragem mínima 100 amostras por segundo, 1 Notebook	R\$ 8.400,00
Equipamento de <i>Spin Coating</i>	- Spin Coater Series - Equipamento para a etapa de espalhamento por rotação da solução precursora para o crescimento de camadas por <i>Spin Coating</i> - Contendo 18% de importação segundo item II.1.4.4 do edital	R\$ 30.000,00
Chapa aquecedora com agitador magnético	- Agitador Magnético com Aquecimento Modelo ARE	R\$ 1.200,00
Medidor de dureza BARCOL	- Impressores BARCOL Modelos 934-1 ou 935	R\$ 5.000,00
Subtotal Capital		R\$ 73.350,00
Itens de Custeio	Detalhamento	Valor
Material de Consumo	- Vidraria, sacos para armazenagem de amostras, reagentes (acetona, etanol etc.), resina epóxi, catalisadores, agentes de acoplamento (aminossilanos, silanos), tecido de fibra de vidro, nanotubos de carbono, Equipamento de Proteção Individual (EPIs), tubos, cabos, conectores elétricos	R\$ 24.000,00
Serviço de terceiros	- Auxílio na instalação de Equipamentos e Calibração de equipamentos	R\$ 8.500,00

Passagens e Diárias	- Participação em Congressos e apresentação dos resultados	R\$ 8.500,00
Subtotal Custeio		R\$ 41.000,00
Bolsa	Detalhamento	Valor
Bolsa de Iniciação Tecnológica e Industrial	- Duas bolsas com duração de 36 meses, para auxílio na execução das atividades propostas	R\$ 28.800,00
Subtotal Bolsas		R\$ 28.800,00
TOTAL		R\$ 143.150,00

7. Cronograma físico-financeiro

As despesas e o tempo previsto para cada atividade de execução do projeto estão listada na Tabela 2. As atividades descritas são as mesmas detalhadas na metodologia (capítulo 4). A ordem cronológica está dividida em semestres, totalizando 6 semestres no total. Os valores financeiros estão inseridos nas células, e o tempo estimado está identificado em cinza para o cumprimento da atividade.

Tabela 2 – Cronograma físico-financeiro do projeto.

Atividades	Ano 1		Ano 2		Ano 3	
	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 1	Sem. 2
Atividade 1 - Montagem de aparato experimental para obtenção de compósitos via Moldagem por Transferência de Resina com auxílio de vácuo (VARTM)	R\$ 47.366,67					
Atividade 2 - Funcionalização dos NTC e caracterização	R\$ 11.416,67					
Atividade 3 - Deposição direta e via <i>spin coating</i> dos NTC funcionalizados em tecidos de fibra de vidro	R\$ 40.216,66					
Atividade 4 - Avaliação dos parâmetros de processo e produção do compósito				R\$ 20.325,00		
Atividade 5 - Caracterização dos compósitos via ensaios mecânicos e da radiação eletromagnética incidente					R\$ 23.825,00	

8. Participantes do Projeto

A equipe executora do projeto conta com um grupo multidisciplinar e multi institucional, com experiência na área de materiais absorvedores de radiação eletromagnética, materiais nanoestruturados, materiais compósitos, deposição de filmes finos, caracterização microscópica, elétrica, mecânica de materiais, estudo a interação onda/matéria, simulação numérica, bem como em projetos de máquinas

A equipe conta com membros da Universidade Federal de Santa Catarina do Campus de Joinville e de Florianópolis, bem como colaboradores indiretos do Instituto de Aeronáutica e Espaço e da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A Tabela 3 identifica os membros do projeto:

Tabela 3 – Membros do projeto.

Membro	Função no projeto	Instituição
Gabriel Benedet Dutra	Coordenador - Experiência em materiais nano-estruturados e em obtenção de nano-compósitos	CEM/UFSC
Viviane Lilian Soethe	Pesquisador – Experiência em materiais absorvedores de radiação eletromagnética para o setor aeronáutico/aeroespacial e filmes finos.	CEM/UFSC
Ricardo Aurélio Quinhões Pinto	Pesquisador – Experiência em processamento de materiais compósitos e processo VARTM	CEM/UFSC
Rafael Gallina Delatorre	Pesquisador – Experiência em preparação de filmes finos por eletrodeposição e caracterização elétrica, magnética e termoelétrica de filmes finos	CEM/UFSC
Alexandre Mikowski	Pesquisador- Experiência em análises de comportamento mecânico de materiais	CEM/UFSC
Maria Simone Kugeratski Souza	Pesquisador – Experiência em Física e apoiará o projeto no entendimento do fenômeno físico envolvido na absorção eletromagnética por NTC	CEM/UFSC
Bolsista ITI 1	Auxílio a pesquisa	CEM/UFSC
Bolsista ITI 2	Auxílio a pesquisa	CEM/UFSC

9. Infraestrutura

O Centro de Engenharias da Mobilidade, localizado na cidade de Joinville/SC está em fase de conceituação de um Laboratório de Caracterização Mecânica de Materiais. Além desta frente já iniciada, as caracterizações propostas neste projeto serão realizadas juntamente com laboratórios parceiros vinculados a mesma instituição e parcerias. As unidades de pesquisa da UFSC que servirão de apoio às atividades do projeto são constituídas por laboratórios com capacidade e infraestrutura adequadas. Os laboratórios participantes se comprometem a colaborar no desenvolvimento do projeto, interagindo e trocando informações ao longo do período de vigência do projeto proposto. As instalações da UFSC que contribuirão com a realização de análises de caracterização são:

- Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC. O mesmo conta com microscopia eletrônica de varredura (MEV) e transmissão (MET), além de difratometria. As análises de MET e difratometria serão realizadas no equipamento JEOL JEM-1011 *Transmission Electron Microscope* e as análises de MEV no equipamento JEOL JSM-6390LV *Scanning Electron Microscope*. As análises de MET e MEV serão isentas de custo.

As caracterizações Mecânicas serão apoiadas para

- Laboratório de Materiais (LABMAT) e Laboratório de Cerâmicas e Compósitos (CERMAT) – UFSC.

As caracterizações da radiação eletromagnética incidente serão realizadas junto ao Instituto de Aeronáutica e Espaço IAE/CTA, localizado em São José dos Campos/SP.

10. Estimativa de recursos financeiros de outras fontes

O presente projeto de pesquisa está inserido dentro de outra iniciativa de pesquisa já em andamento no Centro da Mobilidade da Universidade Federal de Santa Catarina. Uma rápida descrição do projeto é apresentada abaixo:

- Projeto FAPESC Universal 2012, Termo de Outorga número 2012000061, Processo número FAPESC3471/2012. Título do projeto: Medidas Elétricas em Filmes Metálicos Ultrafinos Aplicados em Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética. Membros: Rafael Gallina Delatorre (coordenador, UFSC/Joinville), Viviane Lilian Soethe (UFSC/Joinville), André Avelino Pasa (UFSC/Florianópolis). Resumo: O objetivo é avaliar a capacidade de filmes metálicos com espessuras da ordem de nanômetros na absorção de radiação eletromagnética na faixa de frequências de micro-ondas. Neste sentido, se pretende obter condições de estudar o comportamento da condução elétrica nestas estruturas, através da confecção de um arranjo de 4 pontas para medidas elétricas de resistividade elétrica e comportamento da corrente em função da voltagem. Estudar a relação entre a espessura dos filmes metálicos ultrafinos, a resistividade elétrica, a densidade de defeitos e a absorção de radiação é fundamental para o entendimento deste mecanismo físico, e está relacionado com aplicações tecnológicas de extrema relevância estratégica

11. Referências

Barrera, E. V.; EP1660405 B1. Sidewall Functionalization of Carbon Nanotubes with Organosilanes for Polymer Composites, 2004.

Chang M. S. An investigation on the dynamic behavior and thermal properties of MWCNTs/FRP laminate composites. *Journal of reinforced Plastics and Composites* 29, 3593, 2010.

Chiu, W.-C.; Tsui, B.-Y.; Characteristics of size dependent conductivity of the CNT-interconnects formed by low temperature process. *Microelectronics Reliability*, vol. 53, p 906, 2013.

Chung, D.D.L., Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials. *Carbon*, v.39, pp.279-285, 2001.

Da Silva, L. V. Compósitos Avançados Epóxi/Fibra de Vidro com elevado teor de nanotubos de carbono, Dissertação de Mestrado – UFRGS, Porto Alegre, 2011.

Fan, Z.; Santare, M. H.; Advani, S. G. Interlaminar shear strength of glass fiber reinforced epoxy composites enhanced with multi-walled carbon nanotubes. *Composites: Part A*, 39, 540, 2007.

Godara, A.; Gorbatiikh, L.; Kalinka, G.; Warriier A.; Rochez, O.; Mezzo, L.; Luizi, F.; van Vuure, A. W.; Lomov S. V.; Verpoest, I.; Interfacial shear strength of a glass fiber/epoxy bonding in composites modified with carbon nanotubes. *Composites Science and technology*, 70, 1346, 2010

Her, S.; Lai, C. Dynamic Behavior of Nanocomposites reinforced with Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNTs). *Materials* 2013, 6, 2274-2284. 2013.

Lee, O. H.; Kim S.; Lim Y. Conduction noise absorption by fiber-reinforced epoxy composites with carbon nanotubes. *Journal of Magnetism and Magnet Materials*, 323, 587, 2011.

Mehdipour, A.; Multiwall Carbon Nanotube - Epoxy Composites with High Shielding Effectiveness for Aeronautic Applications, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2012.

Meitl, M. A.; Zhou, Y.; Gaur, A.; Jeon, S.; Usrey, M. L.; Strano, M. S.; Rogers, J. A.; Solution Casting and Transfer Printing Single-Walled Carbon Nanotube Films. Nano Letters, vol. 4, No 9, p 1643, 2004.

Park, K.; Lee, S.; Kim, C.; Han, J. Application of MWNT-added Glass Fabric/Epoxy Composites to Electromagnetic Wave Shielding Enclosures. Composite Structures, vol. 81, No 3, pp 401-406, 2007.

Rezende, M.C., Silva, F.S., Martin, I.M., Materiais absorvedores de radiação eletromagnética, Spectrum, v. 2, pp. 17-20, 2000.

Zhu et al. US 8187703 B2. Fiber-reinforced polymer composites containing functionalized carbon nanotubes, 2012.

Wang, B.; Yin J.; Wang L. Structure and Properties of Aeronautical Composites Using Carbon Nanotubes/Epoxy Dispersion as Nanocomposite Matrix. Polymer Composites. 2013