



Plano de Trabalho

1- Dados Institucionais

Convenente:

Nome: FEST – FUNDAÇÃO ESPÍRITO SANTENSE DE TECNOLOGIA	
CNPJ: 02.980.103/0001-90	
Endereço Completo: Av. Fernando Ferrari 845 – Bairro Goiabeiras	
Cidade: Vitória – Espírito Santo - ES	CEP: 29060-410
Telefone: (27) 3345-7555	Fax: (27) 3345-7668
E-mail: superintendente@fest.org.br	http://

Dirigente:

Nome: João Luiz Vassalo Reis		Cargo: Diretor Presidente
CPF: 227.172.777-49	R.G.: 1.830.919 - RJ	Órgão expedidor: IFP/RJ
Endereço Completo: Rua José Pinto da Silva, 91/1003 - Mata da Praia		
Cidade: Vitória	CEP: 29066-160	UF: ES
Telefone: (27) 3335-2181	Fax: (27) 3345-7668	
E-mail: superintendente@fest.org.br		

Proponente:

Nome: Universidade Federal do Espírito Santo		Sigla: UFES
CNPJ: 32.479.123/0001-43		
Endereço Completo: Av Fernando Ferrari 514 – Bairro Goiabeiras		
Cidade: Vitória	CEP: 29075-910	
Telefone: (27) 4009-2200	Fax: (27) 4009-2818	
E-mail: reitor@reitoria.ufes.br	http:// www.ufes.br/	

Dirigente:

Nome: Rubens Sergio Rasseli		Cargo: Reitor
CPF: 527522407-91	R.G.: 259084	Órgão expedidor: SSP/ES
Endereço Completo: Av. República 340 Centro		
Cidade: Vitória	CEP: 29020-620	UF: ES
Telefone: (27) 3216-0868	Fax:	
E-mail:		

**Instituição Credenciada Executora:**

Nome: Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica		Sigla: PPGEM
Endereço Completo: Av Fernando Ferrari 914		
Cidade: Vitória	CEP: 29075-910	UF: ES
Telefone: (27) 4009-2645		Fax: (27) 4009-2851
E-mail: ppgem@npd.ufes.br		http://www.

Coordenador da Instituição credenciada executora:

Nome: Cherlio Scandian		Cargo: Coordenador
CPF: 967673087-49	R.G.:789.417	Órgão expedidor: SSP/ES
Endereço Completo: Rua Itaquari nº 300, B/804 - Itapuã		
Cidade: Vila Velha	CEP: 27101-902	UF:ES
Telefone: (27) 3229-0474		Fax: 3335-2851
E-mail: cherlio@hotmail.com		

Nº ato de credenciamento:**Coordenador:**

Nome: Carlos Friedrich Loeffler Neto		Cargo: Professor
CPF: 725048387-00	R.G.: 3815933-1	Órgão expedidor: IFP/RJ
E-mail: carlosloeffler@bol.com.br		

2- Dados do Projeto:

Título: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA EM MODELOS GEOFÍSICOS: SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS ATRAVÉS DO MÉTODO DOS VOLUMES FINITOS, APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO RECURSIVO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DE CONTOURNO EM DINÂMICA E OTIMIZAÇÃO DA REPRESENTAÇÃO DE SUPERFÍCIES, POTENCIAIS E CONJUNTO DE DADOS DISCRETOS ATRAVÉS DE FUNÇÕES DE BASE RADIAL.

Programa: Área Tecnológica de Exploração – Geofísica Aplicada

Tipo de despesa:

8.1.3	DESPESAS DE P&D CONTRATADAS JUNTO ÀS INSTITUIÇÕES DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO CREDENCIADAS
-------	--

Prazo de Execução: 36 meses

Objetivos:

(a) Objetivo Geral:

O objetivo geral deste projeto de pesquisa é desenvolver e aplicar métodos aproximados de grande difusão e reconhecida eficiência na área de Mecânica Computacional no contexto da área de Geofísica, particularmente na linha de pesquisa relacionada à propagação de ondas sísmicas.

(b) Objetivos Específicos:

(b.1) Desenvolver o Método dos Volumes Finitos no que tange aos Problemas de Propagação de Ondas, visando gerar um modelo numérico bidimensional acústico, aplicável à simulação do problema de prospecção sísmica de poços de petróleo. Buscar-se-á gerar um código computacional fundamentado na formulação conservativa do método, evitando derivadas de segunda ordem e usando perfis interpolantes entre volumes de controle, ajustados às características hiperbólicas do problema. Será usada uma transformação conforme através do emprego de coordenadas generalizadas, de forma que a malha de volumes finitos seja não-estruturada e se adapte a geometrias não-regulares;

(b.2) Desenvolver a formulação recursiva do Método dos Elementos de Contorno, de modo a melhorar a precisão deste na simulação de problemas dinâmicos bidimensionais. Uma vez que o custo deste método ainda é proibitivo para solução de problemas de grande porte, intenta-se que o mesmo possa servir nesse projeto para geração de soluções de referência em problemas-teste bidimensionais para comparação com o Método dos Volumes Finitos, pois que as soluções analíticas disponíveis são muito restritas e quase sempre relacionadas a problemas unidimensionais;

(b.3) Geração de soluções analíticas através do Método de Separação de Variáveis para problemas-teste de propagação de ondas em meios homogêneos e heterogêneos, para balizar a eficiência das soluções numéricas dos métodos supra-citados nas fases iniciais de simulação numérica;

(b.4) Aprimoramento da técnica de interpolação com funções de base radial tanto para inserção de melhores funções nos perfis interpolantes do Método dos Volumes Finitos, quanto para as formulações dinâmicas do Método dos Elementos de Contorno, além do aprimoramento da técnica de interpolação na geração de superfícies, potenciais e bases de dados sísmicos, visando à otimização da forma de representação das mesmas, empregando um menor número de pontos de referência e reposicionando-os de acordo com critérios de adaptatividade.

Justificativa:

A descoberta das jazidas de óleo nas camadas do pré-sal trouxe grandes expectativas de verdadeira auto-suficiência do país quanto à disponibilidade energética em termos da matriz de produção de óleo e gás combustível. Mas ampliou do mesmo modo os desafios com relação ao desenvolvimento de tecnologias que permitam a otimização de todos os componentes da cadeia de produção do petróleo, desde a prospecção até o processamento. No que tange a prospecção, particularmente, há necessidade de metodologias cada vez mais eficientes, que garantam precisão com custos reduzidos.

Em termos de modelagem matemática, o emprego do método sísmico de reflexão é o mais utilizado atualmente na indústria do petróleo. A razão disso provém da sua relativa eficiência e baixo custo. No entanto, é contínua a busca por técnicas que permitam uma definição cada vez mais precisa das feições geológicas, de forma a haver melhor identificar as regiões mais propícias ao acúmulo de hidrocarbonetos.

Os métodos numéricos mais importantes da Mecânica Computacional, inicialmente gerados para análise e solução de problemas estruturais e projetos de máquinas e equipamentos, são ferramentas fundamentais nessa fase de processamento dos dados de campo e construção das imagens geológicas. Sabe-se que é possível prever do ponto de vista teórico a resposta sísmica do meio heterogêneo, utilizando uma modelação matemática adequada. Para tal torna-se necessário conhecer os vários parâmetros físicos associados às camadas geológicas e, em particular, à velocidade de propagação de ondas.

Ao mesmo tempo em que se busca aprimorar os a precisão dessas ferramentas computacionais, intenta-se igualmente a redução do custo computacional despendido nessa fase, seja no armazenamento de dados sismográficos, quanto no próprio processamento para obtenção da resposta sísmica.

O presente projeto trata exatamente do desenvolvimento de pesquisas direcionadas ao aprimoramento de métodos e técnicas numéricas bem consolidadas no ambiente acadêmico, como o Método dos Elementos de Contorno, o Método dos Volumes Finitos e as Funções Interpolantes de Base Radial.

Tais métodos, baseados na idéia de discretização do domínio e aproximação numérica da solução desejada, apresentam aceitação crescente no meio industrial e suas características os apontam como promissores na simulação e solução de tópicos de interesse na área de geofísica, particularmente na simulação da propagação das ondas de choque através das camadas rochosas heterogêneas do solo.

Apesar dos métodos em si comporem áreas de pesquisa algo distintas, neste projeto todos estão de alguma forma interligados ao problema de prospecção de poços, em que são aplicados de acordo com o padrão usual dos métodos sísmicos de reflexão.

Resultados Esperados:

(a) Análise de funções radiais

Em grande parte, o presente projeto dá continuidade ao projeto anterior, no qual foram iniciados os estudos com a aplicação do procedimento recursivo do Método dos Elementos de Contorno e com a modelagem empregando funções de base radial na representação de superfícies e na integração de funções a partir da interpolação do campo, em que foram testadas diversas classes de funções.

Tais funções podem ser usadas no âmbito do Método dos Elementos de Contorno, onde o termo de inércia pode ser tratado através das formulações com dupla reciprocidade e quase-dupla reciprocidade, que empregam procedimentos interpolativos. Dentre as funções que podem ser empregadas, se destacam as funções de base radial, tanto globais quanto compactas. Também o Método dos Volumes Finitos, na sua versão com o emprego de funções Spline, usa perfis interpolantes no interior dos volumes base como recurso para aumentar sua eficiência.

Assim, como produtos finais, serão coletados: primeiramente os resultados de testes de avaliação de desempenho de funções de base compacta na geração de superfícies bidimensionais; para aferição serão empregados o cálculo de volumes, o cálculo do erro entre pontos aleatórios e ainda integrabilidade ao longo de trajetórias arbitrárias. Em segundo lugar, a identificação dos resíduos em procedimentos interpolantes, consistindo da diferença entre dois campos interpolados e identificação das regiões de melhor e pior representatividade no campo. Como terceira etapa, será feito o ajuste de pontos através de curvas de aproximação através do Método dos Mínimos Quadrados. Nessa fase serão identificados quantitativamente e qualitativamente: o efeito da inserção e retirada de pontos interpolantes, fundamentada na estimativa do resíduo em problemas de cálculo de volumes; e o efeito da inserção e retirada de pontos interpolantes fundamentado na estimativa do resíduo em problemas de cálculo de integrais de linha. Por fim, construir-se-á uma superfície de ajuste com número mais reduzido de pontos base a partir de uma superfície tradicionalmente interpolada.

(b) Utilização do Método dos Elementos de Contorno

Já o procedimento recursivo do Método dos Elementos de Contorno, igualmente desenvolvido com êxito no projeto anterior em casos estacionários, tem sido aprimorado como ferramenta auxiliar na melhoria da precisão da resposta do método, sem precisar com isso haver dispêndio significativo de tempo computacional adicional.

Entretanto, o presente projeto multiplica as ações com tais ferramentas no apoio à pesquisa na área de simulação sísmica.

No caso do procedimento recursivo do Método dos Elementos de Contorno (MEC), visa-se aqui estender sua aplicação, realizada com sucesso nos problemas estacionários, aos casos de ações de domínio mais complexos, como



os problemas de difusão-advecção (de estrutura matemática similar ao problema composto por meios contínuos não homogêneos) e, particularmente, aos problemas acústicos e dinâmicos em geral. Nessa última aplicação, o método poderá atuar como poderoso auxiliar na validação das soluções numéricas desenvolvidas por outro método, por enquanto mais adequado ao trato das heterogeneidades do meio contínuo, que é o Método dos Volumes Finitos.

Em síntese, os resultados esperados serão coletados inicialmente após a formulação e implementação computacional do procedimento recursivo aos problemas regidos pela Equação de Poisson, resolvendo problemas-teste para avaliação de resultados. O procedimento será estendido em seguida aos problemas governados pela equação da difusão-advecção. Superada essa etapa, devido à similaridade do equacionamento, o procedimento recursivo é aplicado em problemas de campo escalar estacionários com meio heterogêneo, havendo simulação de problemas teste para comprovação da eficiência dos resultados. Entre os testes previstos encontra-se a avaliação do desempenho da formulação com relação ao grau de heterogeneidade do meio, que é equivalente no problema difusivo-advectivo, à variação do número de Peclet do escoamento. Por fim, será gerada a formulação e efetivada a implementação computacional do procedimento recursivo em problemas governados pela equação da onda acústica em meios homogêneos, no qual será feita uma avaliação preliminar de desempenho em problemas-teste bidimensionais.

(c) Utilização do Método dos Volumes Finitos

Dadas as peculiaridades do problema sísmico, particularmente a dimensão do sistema numérico e a heterogeneidade do meio, os métodos da classe diferencial são usualmente os mais empregados. No contexto desse projeto, visando ampliar a precisão dos resultados, é desenvolvido um método mais sofisticado, que preserva as vantagens da família de métodos diferenciais e apresenta particularidades importantes com relação à precisão e obediência a princípios físicos importantes. Esse método é exatamente o Método dos Volumes Finitos, cuja robustez no trato de problemas heterogêneos o faz despontar como técnica competitiva para simulação de grandes problemas dessa natureza, naturalmente dependentes do tempo. O Método dos Volumes Finitos (MVF) possui um esquema iterativo interno que verifica tanto o balanço de fluxo quanto garante a continuidade da variável básica.

No contexto do MVF, desenvolver-se-ão esquemas e algoritmos de solução mais célere, pois que o problema do custo computacional ainda é significativo fator de impedimento à aplicação generalizada do método em problemas de grande porte, sem os devidos esquemas de aceleração de convergência. Ao mesmo tempo, buscando a completa flexibilidade do MVF, será desenvolvido um programa bidimensional no qual serão geradas malhas não-estruturadas, capazes de se ajustar a geometrias de qualquer classe. Objetiva-se inicialmente, neste projeto, implementar o modelo acústico, visando aferição da metodologia empregada, que usa derivadas de primeira ordem.

Resumindo as atividades a serem realizadas com o MVF, ter-se-á, primeiramente: a formatação desacoplada das equações de governo de primeira ordem no problema acústico e a solução e análise do significado dos autovalores e autofunções necessários ao desacoplamento. Verificar-se-á a conservatividade do modelo numérico (ausência de dispersão e amortecimento) e outras particularidade referentes à discretização das equações de movimento desacopladas em termos de volumes finitos, inicialmente na solução de problemas teste unidimensionais, tais como a solução da propagação longitudinal de ondas em barras de seção constante e de seção variável; e também a solução de problemas unidimensionais com propriedades mecânicas (rigidez ou massa específica) variáveis. Em seguida, far-se-á a modelagem conservativa e discretização das equações de movimento desacopladas em termos de volumes finitos bidimensionais, com a solução de problemas de propagação de ondas transversais em membranas e a propagação acústica em meios homogêneos planos em geral. Em continuidade, será feita a implementação do esquema de volumes finitos não-estruturados, visando à solução de problemas acústicos bidimensionais com geometrias irregulares. Para aferição de resultados, os testes iniciais consistirão da simulação computacional de problemas-teste acústicos planos com simetria circunferencial e axissimétricos em geral.

(d) Geração de Soluções Analíticas de Referência

Paralelamente ao desenvolvimento do MVF e do MEC com esquema recursivo, serão desenvolvidas soluções analíticas de problemas dinâmicos não homogêneos, de modo a formar um campo de testes computacional seguro para validação inicial dos códigos computacionais.

Objetiva-se obter inicialmente soluções analíticas bidimensional via Método de Separação de Variáveis de problemas acústico com condições de contorno variáveis, do primeiro e segundo tipos. Posteriormente, gerar-se a solução analítica via Método de Separação de Variáveis de um problema acústico unidimensional heterogêneo com condições de contorno não homogêneas em termos de carregamento súbito. Em seguida, obterem-se soluções analíticas de problemas dinâmicos com simetria circunferencial, tanto na geometria quanto no carregamento, também via Método de Separação de Variáveis. Por fim, deseja-se encontrar soluções de problemas acústicos com geometria axissimétrica e forma de carregamento qualquer.

(e) Síntese dos resultados esperados

Conforme exposto, nesse mesmo tempo espera-se que todo um conjunto de técnicas de otimização na manipulação computacional das funções de base radial seja igualmente desenvolvido, permitindo o aprimoramento da técnica de interpolação na geração de superfícies, potenciais e bases de dados sísmicos. Desse modo, pode-se minimizar a forma de representação das mesmas, empregando um menor número de pontos de referência e reposicionando-os de

acordo com critérios de adaptatividade, calcados em estimadores e indicadores de erro.

Espera-se ao final do projeto que um aperfeiçoamento significativo das formulações e técnicas propostas, no sentido de torná-las mais gerais e eficazes no contexto da simulação geofísica.

Para implementação dos objetivos propostos, concebem-se três principais focos de atividade, seja qual for o método numérico empregado: primeiramente, a elaboração e desenvolvimento matemático das equações de governo da geodinâmica, de acordo com as peculiaridades de cada método numérico; em segundo lugar, a geração dos programas computacionais, feitos em linguagem FORTRAN e/ou C/C++; finalmente, a validação dos modelos propostos através de simulações computacionais de diversos problemas-teste.

A apresentação dos resultados será feita com o auxílio de gráficos ilustrativos de desempenho ou tabelas, que considerarão medidas usual de erro percentual e mostrarão valores típicos da variável básica e sua derivada direcional, de acordo com as condições prescritas no problema.

Naturalmente, para chegar à fase anterior, uma etapa complexa deverá ser vencida, consistindo da implementação das técnicas de geração de malhas conformes não-estruturadas no código computacional do Método dos Volumes Finitos.

Como produto final, além do maior conhecimento acerca das particularidades metodológicas dos algoritmos e técnicas empregados, bem como maior domínio dos aspectos físicos inerentes aos problemas acústicos, serão disponibilizados ao CENPES todos os códigos computacionais gerados durante o projeto em linguagem FORTRAN e/ou C/C++, relacionados às vertentes de trabalho aqui expostas.

Metodologia:

Para validação de resultados, nos casos mais simples emprega-se uma metodologia de comparação baseada na solução de problemas-teste que possuem solução analítica disponível, por conta da simplicidade nas suas características físicas e geométricas. Conforme expresso anteriormente, deseja-se gerar algumas soluções analíticas. Nessa fase preliminar, portanto, pode-se avaliar a precisão dos métodos em apreço pelo exame dos seus resultados numéricos em função dos valores analíticos correspondentes.

Posteriormente, em outros problemas mais elaborados, que não possuem solução analítica, as simulações dinâmicas serão processadas em solução conjunta entre o Método dos Volumes Finitos e o Método dos Elementos de Contorno, especialmente na fase da análise de problemas acústicos. A similaridade do comportamento de todos será o principal elemento de avaliação, sendo que nessa nova fase, quesitos como a convergência para um determinado valor, rapidez de

convergência com o refinamento e tempo de processamento serão os fatores determinantes para a avaliação qualitativa.

Mecanismos de Acompanhamento de Execução:

Para o acompanhamento das atividades de pesquisa, sugere-se a apresentação de relatórios semestrais, nos quais consta uma descrição das atividades de pesquisa realizadas no período, de acordo com o cronograma traçado.

Sugere-se, com base no projeto precedente, a visita semestral de especialistas do CENPES de modo a discutirem pormenores de interesse relacionados aos métodos aplicados.

Em função do interesse da instituição financiadora, seminários e discussões concernentes ao conteúdo desenvolvido no trabalho de pesquisa poderão ser realizados para um público maior, bastando apenas haver um prazo hábil para o devido agendamento de tais atividades.

Equipe Executora: Os professores integrantes da equipe executora são todos pertencentes a instituições públicas federais de ensino superior. Devido a maior abrangência do projeto e à possibilidade de melhor intercâmbio com outros centros de excelência, além de professores da UFES, um professor da COPPE/UFRJ também atuará no projeto. Um pesquisador com mestrado, especializado na área de funções radiais, também comporá a equipe, além de bolsistas de iniciação científica.

Nome	Titulação	Área de Especialização	Instituição	Horas/mês	Número de meses
Carlos Friedrich Loeffler Neto	Prof. Titular D.Sc.(1988) M.Sc.(1983) Eng.(1980)	Mecânica dos Sólidos/Métodos Numéricos/ Elementos de Contorno	UFES/PPGEM Depto. Eng. Mecânica	52 Horas/mês	36 meses
Paulo César Oliveira	Prof. Associado D.Sc.(1996) M.Sc.(1992) Eng.(1980)	Mecânica dos Fluidos/Métodos Numéricos/ Volumes Finitos e Diferenças Finitas	UFES/PPGEM Centro Agropecuário	48 Horas/mês	36 meses
Julio Thomaz Chacaltana	Prof. Associado D.Sc.(1997) M.Sc.(1993) Eng.(1986)	Mecânica dos Fluidos/Métodos Numéricos/ Volumes Finitos e Diferenças Finitas	UFES/PPGEA Depto. Eng. Ambiental	34 Horas/mês	36 meses

José Antonio Fontes Santiago	Prof. Associado D.Sc.(1991) M.Sc.(1987) Eng.(1982)	Mecânica dos Sólidos/Métodos Numéricos/ Elementos de Contorno	COPPE/UFRJ	52 Horas/mês	36 meses
Fernando César Meira Menandro	Prof. Associado Ph.D.(1996) M.Sc.(1991) Eng.(1986)	Mecânica dos Sólidos/Métodos Numéricos/ Elementos Finitos	UFES/PPGEM Depto. Eng. Mecânica	26 Horas/mês	36 meses
Marcos Neves Bertholani	M.Sc.(2010) Eng.(2007)	Métodos Numéricos/Funções Radiais	COPPE/UFRJ	104Horas/mês	36 meses
Quatro alunos de Iniciação Científica (seleção futura)	Sétimo período em diante	Mecânica dos Sólidos/ Mecânica dos Fluidos	UFES/Centro Tecnológico/Centro Agropecuário	26 Horas/mês	36 meses

Etapas e Cronograma Físico: Estão desdobradas no cronograma exposto a seguir em termos de *Etapas de Pesquisa*, nas quais a duração em meses é apresentada na coluna de duração prevista, para cada linha de pesquisa existente no projeto.

(a) Funções Radiais

Etapa	Atividades	Duração Prevista	
		Início	Término
Etapa 1:	Atividade 1: Estudo e eleição de funções radiais de base compacta.	1	2
	Atividade 2: Implementação das funções radiais de base compacta mais adequadas.	2	4
	Atividade 3: Testes de avaliação de desempenho de funções de	5	6

	base compacta na geração de superfícies bidimensionais: cálculo de volumes e integrabilidade ao longo de trajetórias arbitrárias.		
Etapa 2:	Atividade única: Associação matemática entre o procedimento interpolante tradicional e os métodos de Galerkin e Mínimos Quadrados.	7	12
Etapa 3:	Atividade única: Identificação dos resíduos em procedimentos interpolantes: diferença entre dois campos interpolados e identificação das regiões de melhor e pior representatividade no campo.	13	18
Etapa 4:	Atividade única: Ajuste de pontos através de curvas de aproximação através do Método dos Mínimos Quadrados.	19	24

Etapa 5:	Atividade 1: Efeito da inserção e retirada de pontos interpolantes, fundamentada na estimativa do resíduo em problemas de cálculo de volumes.	25	28
	Atividade 2: Efeito da inserção e retirada de pontos interpolantes fundamentado na estimativa do resíduo em problemas de cálculo de integrais de linha.	29	30
Etapa 6:	Atividade única: construção de uma superfície de ajuste com número mais reduzido de	31	36

Handwritten signature or initials in blue ink.

	pontos base a partir de uma superfície tradicionalmente interpolada.		
--	--	--	--

(b) Método dos Volumes Finitos

Etapa	Atividades	Duração Prevista	
		Início	Término
Etapa 1:	Atividade 1: Formatação desacoplada das equações de governo de primeira ordem no problema acústico.	1	2
	Atividade 2: Solução e análise do significado dos autovalores e autofunções necessários ao desacoplamento.	2	4
	Atividade 3: Modelagem conservativa e discretização das equações de movimento desacopladas em termos de volumes finitos.	5	6
Etapa 2:	Atividade única: Implementação computacional do modelo anterior de volumes finitos em problemas unidimensionais.	7	12
Etapa 3:	Atividade única: Solução de problemas teste unidimensionais. Solução da propagação unidimensional em barras de seção constante e seção variável; solução de problemas unidimensionais com propriedades mecânicas (rigidez ou massa específica) variáveis.	13	18
Etapa 4:	Atividade única: Solução de problemas teste bidimensionais. Solução de problemas de propagação de ondas transversais em membranas. Propagação	19	24

[Handwritten signature]

	acústica em meios homogêneos planos.		
Etapa 5:	Atividade 1: Análise, modelagem matemática e implementação do esquema de volumes finitos não-estruturados.	25	28
	Atividade 2: Implementação do esquema de volumes finitos não-estruturados em problemas acústicos bidimensionais.	29	33
Etapa 6:	Atividade única: Simulação computacional de problemas teste acústicos planos com simetria circunferencial e axissimétricos em geral.	34	36

(c) Método dos Elementos de Contorno

Etapa	Atividades	Duração Prevista	
		Início	Término
Etapa 1:	Atividade única: Formulação do procedimento recursivo aos problemas regidos pela Equação de Poisson.	1	6
Etapa 2:	Atividade única: Implementação computacional do modelo anterior e solução de problemas teste para avaliação de resultados.	7	12
Etapa 3:	Atividade 1: Análise e formulação matemática do procedimento recursivo em problemas governados pela equação da difusão-advecção.	13	14

	Atividade 2: Análise e formulação matemática do procedimento recursivo em problemas de campo escalar com meio heterogêneo.	15	18
Etapa 4:	Atividade única: simulação de problemas teste para comprovação da eficiência dos resultados. Avaliação do desempenho da formulação com relação ao grau de heterogeneidade do meio e do número de Peclet do escoamento.	19	24
Etapa 5:	Atividade única: Formulação e implementação computacional do procedimento recursivo em problema governados pela equação da onda acústica em meios homogêneos.	25	30
Etapa 6:	Atividade única: Avaliação preliminar de desempenho em problemas-teste bidimensionais.	31	36

(d) Geração de Soluções Analíticas de Referência

Etapa	Atividades	Duração Prevista	
		Início	Término
Etapa 1:	Atividade única: Obtenção de uma solução analítica bidimensional via Método de Separação de Variáveis de um problema acústico homogêneo com condições de contorno variáveis, do primeiro e segundo tipos.	1	6
Etapa 2:	Atividade única: Obtenção de uma solução analítica via Método de Separação de	7	12

	Variáveis de um problema acústico unidimensional heterogêneo com condições de contorno não homogêneas em termos de carregamento súbito.		
Etapa 3:	Atividade única: Obtenção de soluções analíticas com simetria circunferencial, tanto na geometria quanto no carregamento, via Método de Separação de Variáveis.	13	18
Etapa 4:	Atividade única: Obtenção de soluções analíticas com simetria circunferencial apenas na geometria, com carregamento não axissimétrico, ou seja, qualquer.	19	24

3- Cronograma de Desembolso:

Total do Projeto: R\$ 933.534,00

Total de Parcelas: 3 (três)

Valor de Cada Parcela: R\$ 311.178,00

Data de Liberação da 1ª Parcela: 30 dias a partir da data de assinatura do instrumento contratual e apresentação de recibo da fundação

Data de Liberação da 2ª Parcela: 13 meses após assinatura do contrato

Data de Liberação da 3ª Parcela: 25 meses após assinatura do contrato

4- Planilha de Desembolso: Detalhamento apresentado anexo.

CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO

FEST
UFES
PPGEM

Título do projeto: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA EM MODELOS GEOFÍSICOS
Programa: -----REDE TEMÁTICA DE GEOFÍSICA APLICADA

CONTRAPARTIDA FINANCEIRA	PARCELAS			TOTAL	DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS
	1ª	2ª	3ª		
Grupos/Elementos de Despesa					
DESPESAS CORRENTES	311.178,00	311.178,00	311.178,00	933.534,00	CERTA
Outras Despesas Correntes	311.178,00	311.178,00	311.178,00	933.534,00	CERTA
Passagens e Despesas com Locomoção	8.400,00	8.400,00	8.400,00	25.200,00	CERTA
Diárias (Pessoal Civil / Militar)	5.000,00	5.000,00	5.000,00	15.000,00	CERTA
Material de Consumo				0,00	CERTA
Pessoal Não Vinculado	81.600,00	81.600,00	81.600,00	244.800,00	CERTA
Outros Serviços de Terceiros / Pessoa Jurídica	216.178,00	216.178,00	216.178,00	648.534,00	CERTA
DESPESAS DE CAPITAL	0,00	0,00	0,00	0,00	CERTA
Investimentos	0,00	0,00	0,00	0,00	CERTA
Obras e Instalações				0,00	CERTA
Equipamento e Material Permanente				0,00	CERTA
TOTAL GERAL	311.178,00	311.178,00	311.178,00	933.534,00	CERTA

Parcela

Evento
 Assinatura do instrumento contratual -
 13 meses após assinatura do instrumento contratual
 25 meses após assinatura do instrumento contratual



A

RELAÇÃO DOS ITENS PASSAGENS

Sigla Conveniente	FEST
Sigla Proponente	UFES
Sigla Executor	PPGEM

Título do projeto: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA EM MODELOS GEOFÍSICOS
Programa: ----REDE TEMÁTICA DE GEOFÍSICA APLICADA

Elemento de Despesa: Passagens e Despesas com Locomoção

Nº	Descrição do item (1)	Finalidade/Justificativa (2)	Destinação (3)	Valor unitário	Quant.	Valor (R\$)
1	Passagens aéreas nacionais	SEMINÁRIOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	UFES	700,00	36	25.200,00
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA						25.200,00

- (1) Descrever cada item solicitado.
(2) Informar a necessidade de cada item para a execução das atividades previstas no projeto.
(3) Registrar a qual instituição se destina cada item solicitado, informando as siglas do Proponente, Executor ou Co-executores, conforme o caso.

**RELAÇÃO DOS ITENS
DIÁRIAS**

Sigla Conveniente	FEST
Sigla Proponente	UFES
Sigla Executor	PPGEM

Título do projeto: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA EM MODELOS GEOFÍSICOS
Programa: ----REDE TEMÁTICA DE GEOFÍSICA APLICADA

Elemento de Despesa: Diárias (Pessoal Civil / Militar)

Nº	Descrição do item (1)	Finalidade/Justificativa (2)	Destinação (3)	Valor unitário	Quant.	Valor (R\$)
1	Diárias nacionais	SEMINARIOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	UFES	250,00	60	15.000,00
2						0,00
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA						15.000,00

- (1) Descrever cada item solicitado.
- (2) Informar a necessidade de cada item para a execução das atividades previstas no projeto.
- (3) Registrar a qual instituição se destina cada item solicitado, informando as siglas do Proponente, Executor ou Co-executores, conforme o caso.



**RELAÇÃO DOS ITENS
MATERIAL DE CONSUMO**

Sigla Conveniente	FEST
Sigla Proponente	UFES
Sigla Executor	PPGEM

Título do projeto: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA EM MODELOS GEOFÍSICOS
Programa: ----REDE TEMÁTICA DE GEOFÍSICA APLICADA

Elemento de Despesa: **Material de Consumo**

Nº	Descrição do item (1)	Finalidade/ Justificativa (2)	Destinação (3)	Valor unitário	Quant.	Valor (R\$)
MATERIAL DE CONSUMO NACIONAL						
1						0,00
2						0,00
3						0,00
Total Nacional						0,00
MATERIAL DE CONSUMO IMPORTADO						
1						0,00
2						0,00
3						0,00
Total Importado						0,00
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA						0,00

(1) Descrever cada item solicitado.

(2) Informar a necessidade de cada item para a execução das atividades previstas no projeto.

(3) Registrar a qual instituição se destina cada item solicitado, informando as siglas do Proponente, Executor ou Co-executores, conforme o caso.



**RELAÇÃO DOS ITENS
PESSOAL NÃO VINCULADO**

Sigla Conveniente	FEST
Sigla Proponente	UFES
Sigla Executor	PPGEM

Título do projeto: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA EM MODELOS GEOFÍSICOS

Programa: ----REDE TEMÁTICA DE GEOFÍSICA APLICADA

Elemento de Despesa: Pessoal Não Vinculado

Nº	Descrição do cargo (1)	Finalidade/ Justificativa(2)	Destinação (3)	Período (em meses)	Quant. (h/mês)	Valor HH e encargos	Valor (R\$)
1	Doutor I - PARTICIPANTE 5	ANALISTA E CO-EXECUTOR DE IMPLEMENTAÇÕES COM FUNÇÕES DE BASE RADIAL	FEST	36	52,00	50	93.600,00
2	Pesquisador I - PARTICIPANTE 6	IMPLEMENTADOR DE MODELOS GERADOS COM FUNÇÕES DE BASE RADIAL	FEST	36	104,00	25	93.600,00
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA							187.200,00

Bolsas de Desenvolvimento Tecnológico:

Nº	Modalidade da bolsa (1)	Finalidade/ Justificativa(2)	Destinação (3)	Período (em meses)	Valor da Bolsa	Valor (R\$)
1	Bolsista de iniciação científica ITI-A	AUXILIAR DE PESQUISA	UFES	36	400	14.400,00
2	Bolsista de iniciação científica ITI-A	AUXILIAR DE PESQUISA	UFES	36	400	14.400,00
3	Bolsista de iniciação científica ITI-A	AUXILIAR DE PESQUISA	UFES	36	400	14.400,00
4	Bolsista de iniciação científica ITI-A	AUXILIAR DE PESQUISA	UFES	36	400	14.400,00
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA						57.600,00
VALOR TOTAL DOS ELEMENTOS DE DESPESA						244.800,00

- (1) Informar o cargo ou a modalidade da bolsa de cada profissional envolvido no projeto.
- (2) Descrever as atribuições e responsabilidades do profissional para a execução das atividades previstas no projeto.
- (3) Registrar a qual instituição se destina, informando as siglas do Proponente, Executor ou Co-executores, conforme o caso.



**RELAÇÃO DOS ITENS
PESSOAL VINCULADO**

Sigla Conveniente	FEST
Sigla Proponente	UFES
Sigla Executor	PPGEM

Título do projeto: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA EM MODELOS GEOFÍSICOS
Programa: -----REDE TEMÁTICA DE GEOFÍSICA APLICADA

Elemento de Despesa: Outros Serviços de Terceiros (Pessoal Vinculado)

Nº	Descrição do cargo (1)	Finalidade / Justificativa (2)	Destinação (3)	Período (em meses)	Valor HH e encargos	Quant. (h/mês)	Valor (R\$)
1	Doutor II - PARTICIPANTE 1	Coordenador do Projeto, executor de simulações com o Método dos Elementos de Contorno, análise de funções de base radial e gerador de soluções analíticas	UFES	36	115,00	52	215.280,00
2	Doutor I - PARTICIPANTE 2	Gerador e executor de simulações com o Método dos Volumes Finitos	UFES	36	100,00	48	172.800,00
3	Doutor I - PARTICIPANTE 3	Gerador e co-executor de simulações com o Método dos Volumes Finitos	UFES	36	100,00	34	122.400,00
4	Doutor I - PARTICIPANTE 4	Analista e co-executor de implementações com funções de base radial	UFES	36	100,00	26	93.600,00
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA							604.080,00

- (1) Informar o cargo de cada profissional envolvido no projeto.
- (2) Descrever as atribuições e responsabilidades do profissional para a execução das atividades previstas no projeto.
- (3) Registrar a qual instituição se destina, informando as siglas do Proponente, Executor ou Co-executores, conforme o caso.



RELAÇÃO DOS ITENS
SERVIÇOS DE TERCEIROS - PESSOA JURÍDICA

Sigla Conveniente	FEST
Sigla Proponente	UFES
Sigla Executor	PPGEM

Título do projeto: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA EM MODELOS GEOFÍSICOS
Programa: ----REDE TEMÁTICA DE GEOFÍSICA APLICADA

Elemento de Despesa: Outros Serviços de Terceiros (Pessoa Jurídica)

Nº	Descrição do item (1)	Finalidade / Justificativa(2)	Destinação (3)	Período (4)	V. Unitário	Quant.	Valor (R\$)
DESPESAS ACESSÓRIAS DE IMPORTAÇÃO							
1							0,00
2							0,00
Total das Despesas Acessórias de Importação							
OUTRAS DESPESAS COM SERVIÇOS DE TERCEIROS (Pessoa Jurídica)							
1	DESPESAS ADMINISTRATIVAS E OPERACIONAIS	GERENCIAMENTO E ORDENAMENTO DE DESPESAS	FEST	36	44.454,00	1	44.454,00
2							0,00
3							0,00
Total de Outras Despesas							
RESSARCIMENTO DE PESSOAL							
Total de Ressarcimento de Pessoal							
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA							
							604.080,00
							648.534,00

- (1) Descrever cada item solicitado.
- (2) Informar a necessidade de cada item para a execução das atividades previstas no projeto.
- (3) Registrar a qual instituição se destina cada item solicitado, informando as siglas do Proponente, Executor ou Co-executores, conforme o caso.
- (4) Se cabível, informar a duração dos serviços prestados, considerando o prazo de execução do projeto.



**RELAÇÃO DOS ITENS
OBRAS E INSTALAÇÕES**

Sigla Conveniente	FEST
Sigla Proponente	UFES
Sigla Executor	PPGEM

Título do projeto: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA EM MODELOS GEOFÍSICOS
Programa: ----REDE TEMÁTICA DE GEOFÍSICA APLICADA

Elemento de Despesa: Obras e Instalações

Nº	Descrição do item (1)	Finalidade / Justificativa (2)	Destinação (3)	Valor (R\$)
1				0,00
2				0,00
3				0,00
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA				0,00

(1) Descrever cada item solicitado.

(2) Informar a necessidade de cada item para a execução das atividades previstas no projeto.

(3) Registrar a qual instituição se destina cada item solicitado, informando as siglas do Proponente, Executor ou Co-executores, conforme o caso.



**RELAÇÃO DOS ITENS
EQUIPAMENTO E MATERIAL PERMANENTE**

Sigla Conveniente	FEST
Sigla Proponente	UFES
Sigla Executor	PPGEM

Título do projeto: **APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA EM MODELOS GEOFÍSICOS**
 Programa: **---REDE TEMÁTICA DE GEOFÍSICA APLICADA**

Elemento de Despesa: **Equipamento e Material Permanente**

Nº	Descrição do item (1)	Finalidade/ Justificativa (2)	Destinação (3)	Valor unitário	Quant.	Valor (R\$)
EQUIPAMENTO E MATERIAL PERMANENTE NACIONAL						
1						0,00
2						0,00
3						0,00
Total Nacional						0,00
EQUIPAMENTO E MATERIAL PERMANENTE IMPORTADO						
1						0,00
2						0,00
3						0,00
Total Importado						0,00
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA						0,00

- (1) Descrever cada item solicitado.
- (2) Informar a necessidade de cada item para a execução das atividades previstas no projeto.
- (3) Registrar a qual instituição se destina cada item solicitado, informando as siglas do Proponente, Executor ou Co-executores, conforme o caso.

