

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Bruno Fagundes
Flora E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 24.12.2011

Eugenio Spano
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Bruno Fagundes Flora

**SENSOR DE IMPEDÂNCIA DE ANÉIS
PARA MEDIDA DE FRAÇÃO DE VAZIO EM
ESCOAMENTO GÁS-LÍQUIDO**

Campinas, 2011.

Bruno Fagundes Flora

SENSOR DE IMPEDÂNCIA DE ANÉIS PARA MEDIDA DE FRAÇÃO DE VAZIO EM ESCOAMENTO GÁS-LÍQUIDO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Termica e Fluidos

Orientador: Eugênio Spanó Rosa

Campinas
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

F661s Flora, Bruno Fagundes
Sensor de impedâncias de anéis para medida de fração de
vazio em escoamento gás-líquido / Bruno Fagundes
Flora. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Eugênio Spanó Rosa.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Escoamento multifásico. 2. Impedância
(Eletricidade). 3. Sensores. 4. Engenharia do petróleo -
Equipamento e acessórios. I. Rosa, Eugênio Spanó. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Ring impedance sensor for void fraction gas-liquid meter
Palavras-chave em Inglês: Multiphase flow, Impedance (Electricity), Sensors,
Petroleum engineering - Equipment and accessories

Área de concentração: Térmica e Fluidos

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Ricardo Augusto Mazza, Jorge Luis Baliño

Data da defesa: 24/02/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

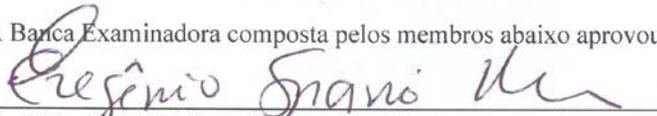
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**SENSOR DE IMPEDÂNCIA DE ANÉIS PARA
MEDIDA DE FRAÇÃO DE VAZIO EM
ESCOAMENTO GÁS-LÍQUIDO**

Autor: Bruno Fagundes Flora
Orientador: Eugênio Spanó Rosa

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Eugênio Spanó Rosa, Presidente
Instituição FEM/UNICAMP



Prof. Dr. Ricardo Augusto Mazza
Instituição FEM/UNICAMP



Prof. Dr. Jorge Luis Baliño
Instituição POLI/USP

Campinas, 24 de fevereiro de 2011.

Dedico este trabalho aos meus pais por tudo que eles fizeram e um pouco mais.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

- Minha família. Aqueles que tiveram voz ativa.
- Meu orientador Eugênio, meu ex-orientador Figueiredo e ao corpo docente da FEM.
- A equipe do grupo 2PFG, os funcionários do 2PFG e os funcionários da FEM/UNICAMP.
- Meus amigos do Departamento de Energia em especial aquele comigo dividiu sala, Marco.
- Todos que estiveram na minha vida presentes durante esse período, sem dúvidas são os responsáveis por me constituir e me ajudar a persistir.

Nós, aeronautas do espírito! - Todos esses ousados pássaros que voam para longe, para bem longe - é claro! em algum lugar não poderão mais prosseguir e pousarão num mastro ou num recife - e ainda estarão agradecidos por essa mísera acomodação! Mas quem poderia concluir que à sua frente não há mais uma imensa via livre, que voaram tão longe quanto é possível voar? Todos os nossos grandes mestres e precursores param, afinal, e não é com o gesto mais nobre e elegante que a fadiga se detém: assim também será comigo e com você! Mas que importa a mim e a você! Outros pássaros voarão adiante! Esta nossa idéia e crença porfiam em voar com eles para o alto e para longe, sobre diretamente acima de nossa cabeça e de sua impotência, às alturas de onde olha na distância e vê bandos de pássaros bem mais poderosos do que somos, que ambicionarão as lonjuras que ambicionávamos, onde tudo é ainda mar, mar e mar! - E para onde queremos ir, então? Queremos transpor o mar? Para onde nos arrasta essa poderosa avidez, que para nós vale mais que qualquer outro desejo? Por que justamente nessa direção, para ali onde até hoje todos os sóis da humanidade se puseram, desapareceram? Dirão as pessoas, algum dia, que também nós, rumando para o Ocidente, esperávamos alcançar as Índias - mas que nosso destino era naufragar no infinito? Ou então, meus irmãos? Ou?

Friedrich Nietzsche

Resumo

É proposta uma metodologia de projeto e de calibração de um medidor de fração de vazio para escoamento de gás e líquido operando com o princípio de impedâncias elétricas baseado em simulação numérica. O desenvolvimento do sensor é feito utilizando-se de um software de volumes finitos para a otimização heurística da geometria dos eletrodos e também para a criação de uma curva de mapeamento do sinal para fração de vazio de acordo com as características elétricas do fluido em questão, ou seja, características capacitivas (óleo, gás), resistivas (água) ou ambas. Utilizando o conceito de similaridade entre modelo e protótipo foi possível reduzir os resultados computacionais a simples expressões algébricas que relacionam diretamente a fração de vazio com a voltagem do circuito e estender este resultado para tubulações de quaisquer diâmetros. Testes estáticos e dinâmicos são feitos com o propósito de validar o estudo computacional e verificar o desempenho do sensor operando com diferentes padrões de escoamento.

Palavras Chave: Escoamento multifásico, Impedância (Eletricidade), Sensores, Engenharia do petróleo - Equipamento e acessórios.

Abstract

A methodology for design and calibration of a void fraction meter for gas and liquid flow operating on the principle of electrical impedance is developed based on numerical simulation. The sensor development is done using a finite volume software. The numerical analysis allowed a heuristic geometry optimization of the electrodes and also created a mapping curve for the void fraction signal according to the electrical characteristics of the fluid in consideration, ie, capacitive (oil, gas), resistive (water) or both. Using the concept of similarity between model and prototype it was possible to reduce the computational results to simple algebraic expressions that relate directly the void fraction with the voltage output and extend this result to pipes of any diameter. Static and dynamic tests were done in order to validate the computational study and verify the performance of the sensor operating with different flow patterns.

Key Words: Multiphase flow, Impedance (Electricity), Sensors, Petroleum engineering - Equipment and accessories.

Lista de Ilustrações

Figura 1 – Característica visuais dos padrões de escoamento encontrados no escoamento vertical ascendente de ar e água: (a) bolhas; (b) capa esférica; (c) golfadas; (d) golfadas instáveis; (e) semi-anular e (f) anular	4
Figura 2: Montagem da instrumentação ultra-sônica. (Massignan et al,2007)	11
Figura 3: Montagens geométricas dos capacitores. (a) Placas paralelas (b) Placas Côncavas (c) Placas Côncavas Escalonadas (d) Duplo Helicoidal (e) Múltiplo Helicoidal (f) Quatro placas Côncavas	17
Figura 4: (a) Esquema da configuração dos eletrodos. (a) tipo anel. (b) tipo côncavo. Ahmed, 2006	19
Figura 5 – Identificação dos componentes do sistema de medida	21
Figura 6 – Desenho 3D e representação esquemática do sensor anel	23
Figura 7 – Desenho 3D e representação esquemática de placas côncavas	24
Figura 8 - Ilustração geral da ponte RLC	27
Figura 9 - Conexões para uma medida a três fios e range de trabalho	28
Figura 10 - Simplificação do modelo de medida	29
Figura 11 - Modelos de medida para parasita resistivo	29
Figura 12 – Circuito eletrônico: amplificador operacional inversor	30
Figura 13 – Representação das impedâncias das fases.....	33
Figura 14 – Linhas de campo elétrico obtidas por simulação numérica.	37
Figura 15 - A configuração ‘A’ apresenta apenas um eletrodo de sensoriamento. A configuração ‘B’ apresenta um guarda e um eletrodo de sensoriamento. A configuração ‘C’ apresenta dois eletrodos de sensoriamento e a configuração ‘D’ apresenta 3 eletrodos de sensoriamento e um eletrodo de guarda.	41
Figura 16 – Linhas de campo elétrico obtidas por simulação numérica.	44
Figura 17 – Representação esquemática dos componentes do Sensor modelo D com apresentação do tubo, isolante, eletrodo de sensoriamento, eletrodo guarda e haste.....	46
Figura 18 – Variação da diferença $K-K_{ideal}$ em função do valor da constante dielétrica.....	51
Figura 19 – Curva de sensibilidade para dielétricos $\{\epsilon_r = 1,0 ; \epsilon_r = 2,5\}$ e $\{\epsilon_r = 1,0 ; \epsilon_r = 80\}$ em função da fração de líquido $(1-\alpha)$	53
Figura 20 – Curva utilizando correlação de Maxwell e dados obtidos através da simulação usando software Phoenics para dielétrico $\epsilon_r=2,5$ onde a linha contínua é Maxwell e a linha tracejada é a simulação usando phoenics	57
Figura 21 - Curva utilizando correlação de Maxwell e dados obtidos através da simulação usando software Phoenics para dielétrico $\epsilon_r=80$ onde a linha contínua é Maxwell e a linha tracejada é a simulação usando Phoenics.....	57
Figura 22 – Variação da resistência relativa em função da fração de líquido $(1-\alpha)$ para o padrão anular. Na figura os símbolos representam dados de fluidos com diferentes condutividades .	61
Figura 23 – R^* em função da fração de vazio para o padrão bolhas dispersas.	65
Figura 24 – Representação elétrica de um fluido com propriedades de meio condutivo e dielétrico.....	66
Figura 25 – Fração de vazio por $(1-V^*)$ para líquidos condutivos.....	74

Figura 26 – Fração de vazio por $(1-V^*)$ para líquidos dielétricos.....	75
Figura 27 - Equipamento BK Precision MODELO 889A conectado ao sensor de impedâncias, conexão na rede elétrica e cavalete de madeira.....	78
Figura 28: Insertos construídos para análise, 1 corresponde ao tubo cheio de PVC, 2 corresponde ao tubo com bolhas PVC - Ar, 3 corresponde ao anular PVC - Ar 80%, 4 corresponde ao anular PVC - Ar 90%, 5 corresponde ao anular Água - PVC 80%	80
Figura 29 – Circuito de testes (Gomes, 2010).....	87
Figura 30 – Tubulação e tomada de pressão	89
Figura 31 – Representação esquemática da seção com as válvulas de fechamento rápido.....	91
Figura 32 – Mapa de Fluxo indicando os pontos trabalhados.....	93
Figura 33 – Gráfico comparando os valores de frações de vazio obtido pelo método gravimétrico, gravimétrico corrigido com valores os da válvula de fechamento rápido.....	95
Figura 34 – Sinal temporal do sensor de impedâncias no ambiente MATLAB.....	96
Figura 35 – Volume de medida do sensor.....	97
Figura 36: Validação do modelo algébrico, 5 etapas utilizadas para a comparação entre o α do sensor e o α da válvula de fechamento rápido	98
Figura 37 – Medição de fração de vazio, comparação entre sensor e válvula de fechamento rápido para os padrões SC, S, US e SA.....	102
Figura 38: Sinal temporal $1-V^*$, α , PDF do sinal $1-V^*$ e PDF do sinal α para o padrão capa esférica com velocidades $JL = 0,3$ m/s $JG = 0,1$ m/s	105
Figura 39: Sinal temporal $1-V^*$, α , PDF do sinal $1-V^*$ e PDF do sinal α para o padrão golfadas com velocidades $JL = 0,3$ m/s $JG = 0,6$ m/s.....	105
Figura 40: Sinal temporal $1-V^*$, α , PDF do sinal $1-V^*$ e PDF do sinal α para o padrão golfadas instáveis com velocidades $JL = 0,3$ m/s $JG = 2,6$ m/s.....	106
Figura 41: Sinal temporal $1-V^*$, α , PDF do sinal $1-V^*$ e PDF do sinal α para o padrão semi anular com velocidades $JL = 0,3$ m/s $JG = 6,7$ m/s.....	106
Figura 42 – Linhas equipotenciais e linhas tangentes ao vetor campo elétrico para sensor côncavo padrão.....	123
Figura 43- Montagem Phoenics para o tubo cheio.....	126
Figura 44- Montagem Phoenics para o tubo padrão anular com 90%.....	138
Figura 45- Montagem Phoenics para o tubo padrão bolhas dispersas 10%	149
Figura 46 Eletrodo de anel central.....	170
Figura 47 Eletrodo de anel periférico, duas unidades.	171
Figura 48 Haste de conexão entre o anel principal e a alimentação.....	172
Figura 49 Haste de conexão entre o eletrodo de guarda e a alimentação.....	172
Figura 50 Isolamento elétrico do eletrodo principal, duas unidades.	173
Figura 51 Isolamento elétrico do eletrodo de guarda, duas unidades.....	174
Figura 52 Eletrodo de anel guarda.....	175
Figura 53 Carcaça externa que aloja os eletrodos de anéis e de guarda.....	176
Figura 54: $JL = 0,3$ $JG = 0,1$; teste n°37, padrão SC	177
Figura 55: $JL = 0,3$ $JG = 0,2$; teste n°32, padrão S.....	177
Figura 56: $JL = 0,3$ $JG = 0,6$; teste n°20, padrão S.....	178
Figura 57: $JL = 0,3$ $JG = 2,6$; teste n°8, padrão US.....	178
Figura 58: $JL = 0,3$ $JG = 6,7$; teste n°14, padrão SA.....	179
Figura 59: $JL = 0,4$ $JG = 1,0$; teste n°2, padrão S.....	179

Figura 60: JL = 0,4 JG = 1,5; teste n ^o 5, padrão S.....	180
Figura 61: JL = 0,4 JG = 4,2; teste n ^o 11, padrão US.....	180
Figura 62: JL = 0,6 JG = 0,2; teste n ^o 38, padrão SC.....	181
Figura 63: JL = 0,6 JG = 0,3; teste n ^o 24, padrão S.....	181
Figura 64: JL = 0,6 JG = 0,6; teste n ^o 25, padrão S.....	182
Figura 65: JL = 0,6 JG = 1,0; teste n ^o 3, padrão S.....	182
Figura 66: JL = 0,6 JG = 2,4; teste n ^o 9, padrão S.....	183
Figura 67: JL = 0,6 JG = 6,3; teste n ^o 15, padrão US.....	183
Figura 68: JL = 0,7 JG = 4,0; teste n ^o 12, padrão US.....	184
Figura 69: JL = 1,2 JG = 0,2; teste n ^o 43, padrão SC.....	184

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Valores da constante dielétrica relativa de alguns materiais	6
Tabela 2 – Valores da condutividade elétrica de alguns materiais (Wikipédia)	8
Tabela 3 – Apresentação sintética de sensores de impedância encontrados na bibliografia. ...	14
Tabela 4 – Dimensões do Sensor de Anéis múltiplos do diâmetro	40
Tabela 5 – Valores em pF do Sinal vazio e Sinal cheio-vazio para as configurações de sensores A, B, C e D.	43
Tabela 6 – Sensibilidade de borda: relação entre a fração de líquido, $1-\alpha$, e a capacitância relativa, C^* , para as configurações A, B, C e D dos sensores.	43
Tabela 7 – Conjunto de fotografias dos componentes do sensor e sua montagem	47
Tabela 8 – Capacitância real, capacitância ideal, capacitância parasita e o fator β para meios com diferentes dielétricos.	50
Tabela 9 – Valores de capacitâncias em pF para diferentes dielétricos e diâmetros do tubo do sensor.	52
Tabela 10 – Erro entre o modelo dado na Equação(44) e a estimativa numérica da capacitância para diferentes dielétricos e diâmetros internos de sensores.	52
Tabela 11 – Valor de Resistência para condutividades e diâmetros diferentes.	59
Tabela 12 – Erro entre a resistência analítica e a resistência computacionalmente simulada. .	60
Tabela 13 – Valores de Resistência obtidos pela correlação de Maxwell e pela simulação de Phoenix para diversas frações de vazio e variados dielétricos.	64
Tabela 14 – Tubo preenchido com dois fluidos, relação entre fluidos, fase aproximadamente esperada, padrão de escoamento e modelo adotado	69
Tabela 15 – Modelos para o módulo da impedância nos padrões anular e disperso para escoamento bifásico de gás e líquido sendo que o líquido pode apresentar propriedades dielétrica, condutiva ou ambas.	70
Tabela 16 – Expressões algébricas para resistência e capacitância adimensionais, R^* e C^* , em função da fração de vazio e do padrão do escoamento.	72
Tabela 17 – Relações algébricas entre V^* e α para construção da curva interpolante.	76
Tabela 18 – Conjunto de materiais e respectivas condutividades, dielétricos relativo e característica predominante	79
Tabela 19 – Insertos construídos, diâmetro interno do inserto de PVC, diâmetro externo do inserto de PVC e a fração de vazio correspondente	80
Tabela 20 – Resultados dos testes estáticos feitos para um material	82
Tabela 21 – Resultado dos testes estáticos feitos para duas fases	83
Tabela 22 – Resultado dos testes estáticos feitos para duas fases e à partir do valor de capacitância o C^* calculado	85
Tabela 23 – Comparação entre a fração de vazio da válvula de fechamento rápido com os valores de fração de vazio obtido pelo método gravimétrico e pelo método gravimétrico corrigido...	94
Tabela 24 – Resultados comparativos, válvula de fechamento rápido, sensor de impedâncias e gravimétrico.	100
Tabela 25 – Dimensões padrão do Sensor Anel, $D= 0,059m$	118
Tabela 26 – Variação no comprimento axial do eletrodo (E), $D= 0,059m$	118

Tabela 27 – Variação no comprimento axial do isolamento, I, D=0,059m.....	119
Tabela 28 – Variação no diâmetro do tubo	119
Tabela 29 – Superfícies equipotenciais e linhas tangentes ao vetor campo elétrico.	121
Tabela 30 – Dimensões padrão do Sensor Côncavo, D=0,059m	122
Tabela 31 – Variação no comprimento axial do eletrodo, D=0,059m	124
Tabela 32 – Variação no comprimento axial do isolamento, D=0,059m.....	124
Tabela 33 – Variação no diâmetro do tubo	125

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Lista de Ilustrações.....	ix
Lista de Tabelas.....	xii
SUMÁRIO.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Conceitos básicos em escoamentos bifásicos.....	2
1.2 Conceitos básicos em eletroquasiestática.....	4
1.3 Conceitos básicos em impedância elétrica.....	8
1.4 Plano da dissertação.....	9
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1 Técnicas de medida de detecção de fases gás-líquido.....	11
2.2 Sensores de Impedância Elétrica.....	12
3 INSTRUMENTO E PRINCÍPIOS FÍSICOS.....	21
3.1 Componentes do Sistema de Medida.....	21
3.2 Geometria dos Sensores.....	23
3.3 Circuitos Eletrônicos e a Impedância das Fases.....	25
3.3.1 Ponte RLC - BK Precision modelo 889A.....	25
3.3.1.1 Aspectos Gerais.....	25
3.3.1.2 Funcionamento e modo de medida.....	27
3.3.1.3 Selecionando o modo série ou paralelo.....	28
3.3.2 Ponte RC com Amplificador Operacional Inversor.....	29
3.3.3 Módulo de Impedância Equivalente.....	32
3.4 Princípios Físicos do Funcionamento do Sensor.....	34
3.5 Método de Cálculo para C e R.....	35
4 CONCEPÇÃO DO SENSOR E MODELAGEM.....	38
4.1 Preâmbulo.....	38
4.2 Configuração geométrica do sensor.....	39
4.2.1 Estudo de configurações geométricas para o sensor de anéis.....	39
4.2.2 Definição da configuração escolhida para o sensor de anéis.....	45
4.3 Modelo algébrico para capacitância do sensor de anéis.....	48
4.3.1 Constante de proporcionalidade do modelo de capacitância.....	49
4.3.2 Efeito da variação do diâmetro no modelo algébrico.....	51
4.3.3 Extensão do modelo para gás-líquido: padrão anular.....	53
4.3.4 Extensão do modelo para gás-líquido: padrão bolhas dispersas.....	54
4.4 Modelo algébrico para resistência elétrica do sensor anéis.....	58
4.4.1 Efeito da variação do diâmetro no modelo algébrico.....	59
4.4.2 Extensão do modelo para gás-líquido: padrão anular.....	60
4.4.3 Extensão do modelo para gás-líquido: padrão bolhas dispersas.....	62
4.5 Modelo algébrico generalizado para impedância elétrica de um fluido homogêneo.....	65
4.5.1 Impedância elétrica para um fluido com propriedade condutiva e dielétrica.....	66

4.6	Sumário dos modelos algébricos para misturas de gás e líquido	68
4.7	Mapeamento da fração de vazio para os padrões anular e bolhas dispersas	72
4.7.1	Relações entre C^* e R^* e a voltagem de saída V^*	72
4.7.2	Mapeamento de V^* em fração de vazio	73
5	TESTES ESTÁTICOS	77
5.1	Testes estáticos	77
5.2	Materiais utilizados	78
5.3	Procedimento dos testes estáticos	80
5.4	Resultado experimental dos testes estáticos e comparação com modelo algébrico	81
5.4.1	Um Material	81
5.4.2	Dois Materiais	83
5.5	Considerações.....	85
6	TESTES DINÂMICOS	86
6.1	Aparato experimental	86
6.2	Técnicas de medidas de Fração de vazio.....	88
6.2.1	Método Gravimétrico Corrigido.....	89
6.2.2	Válvula de Fechamento Rápido	91
6.2.3	Procedimento dos testes.	92
6.3	Manipulações dos dados do sensor de impedâncias.....	95
6.4	Comparação dos resultados	99
6.5	Aplicações do Sensor	102
6.5.1	Identificador objetivo de fases para reconhecimento de padrão.....	103
6.6	Conclusões dos testes dinâmicos.....	107
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	108
7.1	Considerações Preliminares	108
7.2	Conclusões	108
7.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	109
	Referências	111
	APÊNDICE A – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS SENSORES.....	117
	APÊNDICE B – CÓDIGOS PHOENICS	126
	APÊNDICE C – DESENHOS MECÂNICOS DOS COMPONENTES DO SENSOR DE IMPEDÂNCIAS ELÉTRICAS	170
	APÊNDICE D – SINAIS TEMPORAIS DE VOLTAGEM, PDF DO SINAL DE VOLTAGEM, SINAL TEMPORAL DE FRAÇÃO DE VAZIO α e PDF DO SINAL DE FRAÇÃO DE VAZIO α	177

1 INTRODUÇÃO

A área de produção de petróleo atua na transferência do óleo cru do reservatório para um tanque separador onde será iniciado o tratamento do petróleo. De modo simplificado pode-se dizer que o processo de transferência ocorre através de uma linha que conecta o fundo do poço ao vaso separador. O petróleo nesta linha de produção ocorre, freqüentemente, com a presença das fases gasosa e líquida escoando simultaneamente. Esta mistura bifásica, com características hidrodinâmicas complexas, demanda um grande esforço da área de produção para que ela possa atuar de forma efetiva na garantia do escoamento, assim como no monitoramento, controle e otimização da produção. Atingindo estas metas pode-se assegurar a rentabilidade e produção de reservas petrolíferas em áreas terrestres e marítimas.

Para garantir o escoamento nas linhas de produção é desejável o conhecimento de características específicas do escoamento bifásico gás-líquido tais como: padrão das fases, concentração volumétrica, velocidades das fases, queda de pressão entre outras. Estes parâmetros são usualmente estimados por meio de simuladores de fluxo. A medição destas variáveis no campo ainda necessita de desenvolvimento de instrumentos específicos que atualmente não se encontram disponíveis em mercado.

Entre os parâmetros listados acima a concentração volumétrica da fase gás na mistura α , também conhecida por fração de vazio, constitui por si só em um dos parâmetros mais relevantes em escoamento bifásico. Ela é definida como uma razão entre o volume ocupado pelo gás e o volume da mistura:

$$\alpha = \frac{V_G}{V_M} .$$

Conhecendo-se experimentalmente a fração de vazio pode-se utilizá-la como dado de entrada em simuladores de fluxo e diminuir o grau de incerteza das estimativas. Além disto, pós-processando o sinal temporal da fração de vazio pode-se avaliar o padrão do escoamento. Esta informação revela como as fases estão distribuídas espacialmente dentro do tubo e possibilita indicar, com precisão, qual modelo fenomenológico é mais adequado para simular o respectivo padrão. A medida experimental de α também pode ser aplicada no monitoramento da produção de poços que produzem por *Gas Lift* Contínuo e *Gas Lift* Intermitente assim como controle de golfadas severas.

A motivação deste trabalho foi o desenvolvimento de um instrumento para medição em escoamento bifásico e capaz de operar no campo. Para atingir esta meta foi necessário o desenvolvimento de várias etapas intermediárias.

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento e calibração de um sensor não-intrusivo baseado no princípio de medida de impedâncias elétricas para medição da fração de vazio, buscando integrar ferramentas computacionais e medidas experimentais.

1.1 Conceitos básicos em escoamentos bifásicos

Escoamento bifásico refere-se ao escoamento onde duas fases ou componentes estão ocorrendo simultaneamente. O termo fase representa o estado termodinâmico de uma substância (gás, líquido, sólido), por exemplo, o escoamento de água no estado líquido e vapor. A denominação de fluido bifásico não é somente aplicada quando duas fases termodinâmicas de um mesmo material estão escoando simultaneamente, mas também para fluidos multicomponentes, por exemplo, o escoamento de água no estado líquido e ar.

Com a finalidade de fundamentar o presente trabalho iremos apresentar alguns conceitos básicos em escoamentos bifásicos que serão utilizados ao longo da dissertação.

1) Vazão Volumétrica:

Para uma mistura gás líquido, temos as vazões volumétricas definidas por q , onde g corresponde a parte de gás e l corresponde a parte líquida, assim, a mistura, dada por m pode ser representada por:

$$q_m = q_g + q_l .$$

2) Velocidade volumétrica das fases:

Para um escoamento unidimensional num tubo com seção transversal A , a velocidade média da fase líquida (l) ou gasosa (g) pode ser definida como sendo a razão entre a vazão volumétrica q e a área transversal ocupada, assim temos:

$$J_l = \frac{q_l}{A_l} \quad J_g = \frac{q_g}{A_g} .$$
 (3)

3) Densidade da mistura

A densidade de uma mistura (ρ_m) pode ser expressa pela soma do produto entre as densidades e a fração de vazão:

$$\rho_m = \alpha \rho_g + (1 - \alpha)\rho_l .$$
 (4)

4) Viscosidade da mistura

Este trabalho considera que a viscosidade da mistura (μ_m) é expressa pela soma do produto entre as viscosidades das fases ponderado pela fração de vazão:

$$\mu_m = \alpha \mu_g + (1 - \alpha)\mu_l .$$
 (5)

O trabalho aqui apresentado envolverá escoamento vertical ascendente de uma mistura bifásica. A distribuição parcial das fases desse tipo de escoamento mudam com a variação da

vazão. Nesse trabalho são discriminados seis padrões cujos nomes vêm acompanhados entre parêntesis por sua denominação em língua inglesa como fonte adicional de referência. São eles: bolhas (*bubbly*), capa-esférica (*spherical cap*), golfadas (*slug*), golfadas instáveis (*unstable slug*), semi-anular (*semi-annular*) e anular (*annular*). A Figura 1 apresenta os padrões discriminados (Rosa et al., 2010).

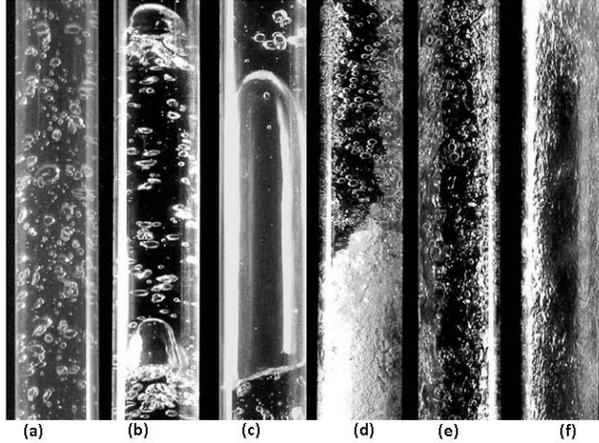


Figura 1 – Características visuais dos padrões de escoamento encontrados no escoamento vertical ascendente de ar e água: (a) bolhas; (b) capa esférica; (c) golfadas; (d) golfadas instáveis; (e) semi-anular e (f) anular.

1.2 Conceitos básicos em eletroquasiestática.

O modelo físico das impedâncias elétricas está baseado nas Equações de Maxwell na forma diferencial apresentadas nas equações (6),(7),(8) e (9):

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \mu_0 \vec{H}}{\partial t}, \quad (6)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \epsilon_0 \vec{E}}{\partial t}, \quad (7)$$

$$\nabla \cdot \epsilon_0 \vec{E} = \rho,$$

$$\nabla \cdot \mu_0 \vec{H} = 0.$$

Onde \vec{E} e \vec{H} representam respectivamente campo elétrico e campo magnético, ρ e \vec{J} densidade carga e de corrente, ϵ_0 e μ_0 constante dielétrica e permeabilidade magnética.

Temos uma aproximação das equações de Maxwell dada pela quase-eletoestática (Haus et al, 1989). Considere que o tempo característico do fenômeno elétrico no volume de medida do sensor seja dado pelo recíproco da frequência do oscilador, (ordem de grandeza $\omega \sim 1\text{MHz}$). Por outro lado a mistura bifásica transmite uma informação num intervalo de tempo proporcional a razão entre uma dimensão característica do meio, no caso o diâmetro D da tubulação e a velocidade da luz, c . Desde que a razão entre os tempos característicos $(1/\omega)/(D/c)$ seja muito menor que a unidade, pode-se dizer que a variação das propriedades das fronteiras, ou contorno, é transmitida quase que instantaneamente em todo o domínio. Para dimensões típicas do sensor encontra-se $(1/\omega)/(D/c) \approx 0,001 \ll 1$ assegurando que o fenômeno, embora transiente, pode ser modelado com uma sucessão de estados de equilíbrio. Além disto, as equações do eletromagnetismo ficam desacopladas e o potencial elétrico pode ser modelado como se fosse um fenômeno eletrostático.

Utilizando os princípios da eletroquasiestática podemos simplificar as Equações de Maxwell conforme apresentado nas Equações (10), (11) e (12):

$$\nabla \times \vec{E} \approx 0, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \epsilon_0 \vec{E} = \rho, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0. \quad (12)$$

Por meio da equação de Laplace expressa em (11), para o cálculo do potencial elétrico V no ar, considerando um meio linear, homogêneo e isotrópico, sem cargas no domínio ($\rho = 0$), temos:

$$\nabla \cdot (\epsilon \nabla V) = 0, \quad (13)$$

onde φ corresponde a uma constante que, no nosso desenvolvimento poderá ser a condutividade σ ou a constante dielétrica ϵ .

Temos que o campo elétrico \vec{E} é o gradiente do potencial elétrico V :

$$\vec{E} = -\nabla V . \quad (1)$$

Para o meio capacitivo temos a lei de Gauss na forma integral, que determina a carga Q na superfície S à partir do campo elétrico \vec{E} :

$$Q = \epsilon \oint_S (\vec{E} \cdot \vec{n}) dA , \quad (15)$$

onde relacionamos a constante dielétrica ϵ como sendo um produto entre a permissividade do vácuo ϵ_0 e a permissividade do meio ϵ_r :

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r . \quad (16)$$

Na Equação (16), ϵ_0 é a constante dielétrica do vácuo $\epsilon_0 = 8,85 \text{ pF}$ e ϵ_r é a constante dielétrica do meio relativa a constante do vácuo, $\epsilon_r \geq 1$. Por referência a Tabela 1 traz a constante dielétrica relativa de alguns materiais. Observa-se que ϵ_r é função da temperatura para os materiais na fase líquida, para os gases eles apresentam um valor próximo do dielétrico do vácuo e para materiais sólidos isolantes tais como o Teflon e PVC eles apresentam ϵ_r próximos do petróleo.

Tabela 1 – Valores da constante dielétrica relativa de alguns materiais obtido em clippercontrols.com [1].

Material	ϵ_r	Temperatura (°C)
Ar (seco)	1,000536	20
Dioxido de Carbono	1,000921	20
Nitrogênio	1,000580	20
Água	88,0	0
Água	80,4	20
Água	55,3	100
Gasolina	2,0	20
Óleo	2,2 a 4,7	20
Óleo – Petróleo	2,0	20
PVC	3,4	20
Teflon	2,0	20

Através da carga Q e da diferença de potencial ΔV temos a capacitância C :

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{\epsilon \oint (\vec{E} \cdot \vec{n}) dA}{V - V_0}. \quad (17)$$

Para o meio resistivo, temos, dada lei de Ohm generalizada (Griffiths, 1999). Consideramos o sistema na eletroquasiestática, simplificamos a Equação(18) e zeramos o produto da velocidade do fluxo de carga e o campo magnético e temos a Equação (19):

$$\vec{J} = \sigma(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{H}), \quad (18)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}, \quad (19)$$

onde o vetor densidade de corrente \vec{J} , a condutividade σ do meio, a relação da velocidade do fluxo das cargas \vec{v} , e o campo elétrico \vec{E} .

Por referência a Tabela 1 traz à condutividade de alguns materiais dando uma atenção especial a faixa de variação existente entre para as águas de torneira.

Tabela 2 – Valores da condutividade elétrica de alguns materiais obtido em wikipedia.com [2].

Material	σ ($\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$)	Temperatura ($^{\circ}C$)
Ar (seco)	0,3 a $0,8 \times 10^{-14}$	-
Água de torneira	0,0005 até 0,05	-
Água deionizada - destilada	até $5,5 \times 10^{-6}$	-
Água salgada	à partir de 4,8	Salinidade de 35 g/kg a $20^{\circ}C$.
Querosene	50 to 450×10^{-12}	-
N-hexano	100×10^{-12}	-
Cobre	$59,6 \times 10^6$	-

A corrente elétrica I é determinada integrando-se o vetor densidade de corrente \vec{J} :

$$I = \oint_s (\vec{J} \cdot \vec{n}) dA = \sigma \oint_s (\vec{E} \cdot \vec{n}) dA. \quad (20)$$

Utilizando a Equação (20), a resistência elétrica R é dada por:

$$R = \frac{\Delta V}{I} = \frac{V - V_0}{\sigma \oint_s (\vec{E} \cdot \vec{n}) dA}. \quad (21)$$

1.3 Conceitos básicos em impedância elétrica

A impedância elétrica Z é dada por uma parte real resistiva R e uma parte complexa, X , que é a reatância, onde $j = \sqrt{-1}$. Expressamos assim, a impedância por:

$$Z = R + jX. \quad (2)$$

A reatância elétrica X , no caso do trabalho aqui apresentado, será unicamente capacitiva, assim temos:

$$X = \frac{-1}{\omega C}, \quad (2)$$

onde C é a capacitância e ω a frequência de oscilação. Existe o arranjo em série do circuito e o em paralelo. O arranjo em série entre as impedâncias para n impedâncias é dado por:

$$Z_{eq} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n. \quad (24)$$

O arranjo em paralelo entre as impedâncias para n impedâncias é dado por:

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n}. \quad (25)$$

1.4 Organização da dissertação

A dissertação está estruturada em 7 capítulos.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica de técnicas e instrumentação comumente utilizadas para medição de fases em escoamento gás-líquido com um aprofundamento dos sensores de impedância elétrica.

O Capítulo 3 constitui em apresentação de definições dos componentes do sistema de medida, uma discussão à respeito da escolha da geometria do sensor, uma apresentação dos circuitos elétricos utilizados, e os princípios físicos que determinam o funcionamento do sensor possibilitando assim sua simulação computacional.

O Capítulo 4 apresenta a concepção do sensor de anel. A impedância elétrica do sensor é obtida por meio de modelo numérico utilizando o pacote Phoenix[®]. As simulações são feitas em diferentes misturas, diferentes padrões de escoamento, evocando a similaridade geométrica, em tubos de diferentes diâmetros. As simulações permitem o mapeamento que será utilizado posteriormente para determinação das frações de vazio.

O Capítulo 5 apresenta os testes estáticos que são experimentos feitos em bancada. Esses experimentos buscam comparar os modelos algébricos anteriormente propostos com os valores obtidos experimentalmente.

O Capítulo 6 consiste em testes dinâmicos que são feitos utilizando escoamentos bifásicos com o objetivo de verificar o funcionamento e a resposta do sensor desenvolvido. É feita a comparação dos resultados com outros métodos (gravimétrico e válvulas de fechamento rápido) e a análise desses resultados.

O Capítulo 7 trata da conclusão do trabalho aqui apresentado e a sugestão de próximos trabalhos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentada uma revisão das técnicas e instrumentação comumente utilizadas na medição geral das fases em escoamento gás-líquido, tais como a detecção de fases, fração de vazio e espessura de filme. O capítulo está dividido em uma parte que apresentará técnicas gerais de medida para escoamentos gás-líquido e outra em que serão discutidos especificamente os sensores de impedância, que constituem o teor deste trabalho.

2.1 Técnicas de medida de detecção de fases gás-líquido

Para proporcionar uma visão amplificada acerca do assunto são apresentadas nesta seção diversas técnicas para detecção de fases em escoamentos gás-líquido existentes na literatura e no mercado.

Para a detecção de fases incluindo a medição da fração de vazio podem-se citar: os sensores óticos, anemômetros de fio quente, densitômetros de raios gama, feixes de raios-X, espalhamento de nêutrons, técnicas de ultra-som reflexivo e medidores de impedância elétrica.

A técnica de ultra-som (Massignan *et al*, 2007), cuja montagem típica está na Figura 2, faz o uso de um transdutor emissor que gera um pulso de ultra-som; este chega ao receptor e, através da energia no sinal, é possível avaliar a fração de vazio em questão.

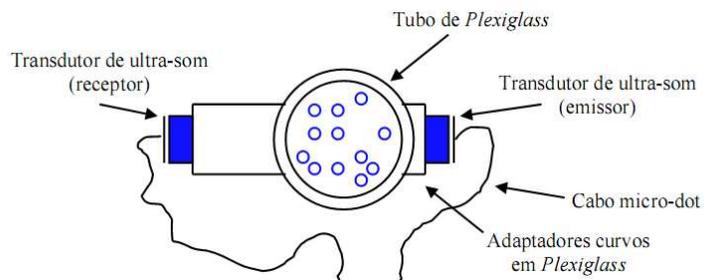


Figura 2: Montagem da instrumentação ultra-sônica. (Massignan et al, 2007).

As técnicas de feixes de raios-X e raios gama (Crowe, 2007), bem como o espalhamento de nêutrons (Buell et al, 2005), funciona usando um feixe de raios que atravessam um plano de uma determinada seção do escoamento. Com um sistema de detecção apropriado mede-se a parcela de radiação absorvida, para avaliar a fração de vazio na seção desejada.

Os sensores óticos locais, descritos por Lee *et al.*, (2007), consistem de sondas intrusivas de fibra ótica, um diodo laser emissor e um fotorreceptor. O índice de refração diferente entre as fases em contato com o sensor acusa binariamente a presença de gás ou líquido.

O anemômetro de fio quente (Toral, 1980) funciona baseado nos valores do coeficiente de transferência de calor das fases líquida e gasosa. De acordo com a passagem de gás ou líquido pelo fio existe uma variação de temperatura que é indicada pelo desbalanceamento de uma ponte de Wheatstone. Através de uma curva de calibração é correlacionada a temperatura no fio com a presença de gás ou líquido.

São destacadas a seguir as principais desvantagens entre as técnicas de medidas apresentadas. A técnica do sensor ótico se mostra ineficaz com fluidos com alta viscosidade, óleo e emulsões, por prejudicar a sonda já que ela fica molhada pelo líquido viscoso não permitindo medir com precisão a alternância de gás e líquido. O anemômetro de fio quente apresenta como dificuldade o fato de ser intrusivo local com tamanho excessivo e também apresentar curvas de calibração baseadas em polinômios de alta ordem. Já os métodos radioativos, além de apresentar custo elevado também oferecem riscos ao meio ambiente. Já os métodos de ultra-som são muito recentes e não apresentam aplicação de campo se limitando a aplicações acadêmicas em desenvolvimento.

2.2 Sensores de impedância elétrica

Os métodos baseados na medição de impedância elétrica do meio consistem na detecção das diferenças de propriedades elétricas associadas às fases gás e líquida. Os sensores baseados no método de impedâncias elétricas vêm sendo desenvolvidos ao longo dos últimos 50 anos. Atualmente há uma grande variedade de sensores decorrentes das formas e tamanhos dos

eletrodos, pelo fato destes eletrodos estarem ou não em contato com o fluido assim como eles intrusivos ou não.

Os sensores de impedâncias intrusivos se caracterizam principalmente por interferir no escoamento, isso é, eles fisicamente entram em contato com o fluido de forma a alterar o arranjo gás-líquido, mudando as linhas de corrente e, assim, podem comprometer a medida das propriedades bifásicas.

Dentre os sensores intrusivos podemos destacar quatro categorias: os locais, que consideram um ponto, sensor de contato (Ishii, 2010); os que consideram uma linha, sensor haste (Mastelari et al., 2005); os que consideram uma área, Reinecke e Mewes (1997) que desenvolveram um mecanismo de tomografia por impedância elétrica que consiste em um sensor bifásico do tipo malha de fios (*wiremesh*) em uma seção transversal do tubo e, por fim, os que consideram um volume, como no trabalho de Cimorelli e Evangelisti (1966).

Os sensores de impedância não intrusivos são aqueles em que as superfícies dos eletrodos tangenciam a parede interna ou externa do tubo de forma a não perturbar o escoamento. Para o funcionamento dos sensores não intrusivos consideramos apenas medidas em volume uma vez que, devido à dimensão e disposição dos eletrodos, a medida se dará, inevitavelmente, em uma fração volumétrica da tubulação sensoriada.

Foi realizado um levantamento bibliográfico com 33 trabalhos publicados entre 1966 a 2008. As principais características destes trabalhos estão mostradas na Tabela 3 – que destaca: o fluido de trabalho, o princípio de funcionamento (se é capacitivo ou resistivo) a frequência de excitação do circuito eletrônico, a forma geométrica do sensor, se o sensor é intrusivo ou não, e se o mesmo está em contato com o fluido ou não.

Tabela 3 – Apresentação sintética de sensores de impedância encontrados na bibliografia.

Artigo	Referência	Fluido de trabalho	Método usado	Frequencia utilizada	Tipo do sensor	Contato com o Fluido	Intrusivo	Ano
1	Cimorelli e Evangelisti	Água e vapor	Capacitância	180 kHz	Dois tubos de aço inox anulares	Sim	Sim	1966
2	Gregory e Mattar	Óleo e vapor	Capacitância	1, 10, 100 e 1000 kHz	Helicoidal	Não	Não	1973
3	Merilo et al.	Água e ar	Resistência	5 kHz	6 Eletrodos	Sim	Não	1977
4	Brown et al.	Água e ar	Resistência	500 kHz	Fios	Sim	Sim	1978
5	Abouelwafa e Kendall	Água, Óleo e vapor	Capacitância	1MHz	Côncavo de 4 placas	Não	Não	1980
6	Del Tin Negrini	Água e ar	Resistência	1MHz	Pino, Cruzado	Sim	Sim	1980
7	Tournaire	Água esferas e ar	Resistência	10 kHz	Côncavo de 2 e 4 placas	Sim	Não	1986
8	Andreussi	Tarugos de plexiglas, esferas e líquido	Capacitância	100kHz	Anéis	Sim	Não	1988
9	Geraets	Água e ar	Capacitância	0,2 kHz	Helicoidal	Não	Não	1987
10	Yin-Pang e Ma	Água e ar	Capacitância	2 MHz	Côncavo	Não	Não	1990
11	Das Pattanayak	Água e ar	Resistência	500 kHz	Haste	Sim	Sim	1993
12	Song et al.	Água e ar	Resistência	10kHz	Côncavo	Sim	Não	1994
13	Elkow e Rezkallah	Água e ar	Capacitância	1MHz	Helicoidal	Não	Não	1996
14	Costigan e Whalley	Água e ar	Resistência	200Hz	Côncavo	Sim	Não	1996
15	Elkow e Rezkallah	Água e ar	Capacitância	2MHz	Côncavo e Helicoidal	Sim / Não	Não	1997
16	Song et al.	Água e ar	Resistência	10 kHz	Côncavo	Sim	Não	1998
17	Hervieu e Selegim	Água e ar	Resistência	20kHz	Anéis	Sim	Não	1998
18	Teysseidou e Tye	Água e ar	Capacitância	1MHz	Côncavo	Não	Não	1999
19	Lowe e Rezkallah	Água e ar	Capacitância	200 Hz	Côncavo com anéis guardas	Não	Não	1999

Tabela 3 – (continuação) Apresentação sintética de sensores de impedância encontrados na bibliografia.

Artigo	Referência	Fluido de trabalho	Método usado	Frequência utilizada	Tipo do sensor	Contato com o Fluido	Intrusivo	Ano
20	Keska et al.	Água e ar	Capacitância e Resistência	30MHz	Côncavo	Sim	Não	1999
21	Duarte e Prata	Oleo e gás	Capacitância	--	Côncavo	Não	Não	2002
22	Holler et al.	Glicerol, água e gás	Capacitância	15MHz	15 eletrodos	Não	Não	2002
23	Fossa et al.	Água e ar	Resistência	20kHz	Anel	Sim	Não	2003
24	Dong et al.	Água e ar	Capacitância	20kHz	Tomógrafo	Sim	Não	2003
25	Yang et al.	Água e ar	Resistência	100kHz	Dois tubos de aço inox anulares / Côncavo	Sim	Sim / Não	2003
26	Jaworek et al.	Água e vapor	Capacitância	80MHz	Côncavo	Não	Não	2004
27	Mastelari et al	Água e ar	Capacitância	100 kHz	Haste	Sim	Sim	2005
28	Reis e Goldstein	Água e ar	Capacitância	1MHz	Côncavo modificado	Não	Não	2005
29	Reis e Goldstein	Água e ar	Capacitância	1MHz	Duplo Helicoidal	Não	Não	2005
30	Mirtaheri et al.	Água NaCl	Resistência	0,01 0,1 1 10 100 1000 Hz	Placas	Sim	Não	2005
31	Ahmed	Água e óleo	Capacitância	1 MHz	Anel e Côncavo	Não	Não	2006
32	Caniere et al.	Água e ar	Capacitância	100 kHz	Côncavo	Não	Não	2007
33	Tan et al.	Água e ar	Resistência	20 kHz	Tomógrafo de placas côncavas	Sim	Não	2007
34	Caniere et al.	Água e ar	Capacitância	100 kHz	Côncavo	Não	Não	2008
35	Huang	Água e ar	Capacitância	1 kHz	Fios	Sim	Sim	2008

Da Tabela 3 percebemos que existe uma prevalência na literatura pelo estudo dos sensores de placas côncavas. Outro aspecto a ser ressaltado é que a maioria dos sensores que possuem contato com o fluido trabalham com o método da resistência, enquanto aqueles que não possuem contato com o fluido obrigatoriamente necessitam trabalhar com o método capacitivo. A grande maioria dos estudos utiliza a água como fluido de trabalho. Por fim, as frequências trabalhadas são as mais variadas possíveis, entretanto é possível verificar que para métodos puramente capacitivos a frequência tende a ser maior enquanto para métodos puramente resistivos a frequência é menor.

Dentre os trabalhos apresentados na Tabela 3, os mais relevantes relacionados a sensores de impedância não intrusivos são discutidos de forma mais detalhada a seguir, dando ênfase à inovação apresentada no trabalho e sua aplicação.

Gregory e Mattar, (1973), apresentam um sensor capacitivo não intrusivo de formato helicoidal cujos fluidos de trabalho são óleo e gás. O trabalho destaca aspectos construtivos do sensor e também traz dados experimentais de testes dinâmicos para determinação da fração de óleo. Merilo et. al, (1977), estuda um sensor com múltiplos eletrodos, princípio resistivo para água e ar. Os resultados são expressos na forma adimensional de resistência. A partir da série temporal medida é obtida a função densidade de probabilidade do sinal como indicador objetivo de padrão para golfada, anular e bolhas. Abouelwafa e Kendall (1980) trazem uma análise comparativa sobre seis tipos de geometrias de sensores como as placas côncavas, múltiplas placas e helicoidais conforme apresentado na Figura 3; os fluidos utilizados são água, óleo e ar. Esse artigo concluiu que a geometria de sensor que apresenta o resultado de forma mais linear (relação capacitância volume de líquido) é a duplo helicoidal (d) e o sensor que apresenta maior sensibilidade é o que possui a geometria de placas côncavas (b).

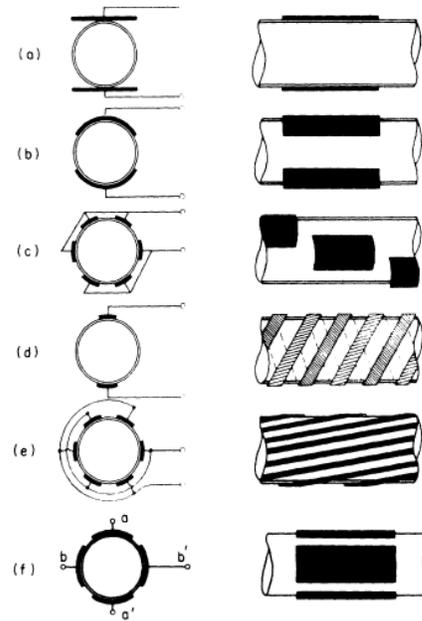


Figura 3: Montagens geométricas dos capacitores. (a) Placas paralelas; (b) Placas Côncavas; (c) Placas Côncavas Escalonadas; (d) Duplo Helicoidal; (e) Multiplo Helicoidal; (f) Quatro placas Côncavas.

Tournaire, (1986), utiliza sensores de placas côncavas com 2 e 4 eletrodos, em um circuito elétrico para detectar resistência. O seu experimento faz uso de água e esferas de vidro não condutivas; os diferenciais de seu trabalho são a ênfase nos eletrodos de sensoriamento onde as linhas equipotenciais são traçadas para assim apresentar o comportamento de diferentes tamanhos de eletrodos, também o mecanismo de campo elétrico girante para medição das frações de vazio. Andreussi (1988) faz uso da configuração de anéis para sensores capacitivos. A calibração do sensor é feita por testes estáticos utilizando esferas e tarugos de plexiglas. Seu trabalho também faz uso das correlações de Maxwell e Bruggeman para prever o comportamento dielétrico da mistura gás-líquido e assim buscar a melhor forma de calibrar o instrumento. Geraets (1987) apresenta um de sensor formato helicoidal trabalhando em um circuito com baixa frequência (0,2 kHz), princípio capacitivo e usando água e ar. Para obter o comportamento do sensor o trabalho determina um modelo e, a partir do seu equacionamento, resolve o laplaciano analiticamente para a geometria proposta; desta forma determina o respectivo campo elétrico longitudinal e

transversal. O sensor proposto é testado de forma estática avaliando sua fração de vazio para diferentes preenchimentos no padrão estratificado.

Yin-Pang Ma, (1990), propõe um sensor de capacitivo côncavo operando em alta frequência (2 MHz), fluidos de trabalho sendo água e ar, onde compara o valor obtido de fração de vazio utilizando o sensor com o valor obtido através de válvulas de fechamento rápido. Para tubos na horizontal, apresenta os resultados de fração de vazio obtidos pelo teste estático. Song et al. (1994) apresentam em seu trabalho um sensor de placas côncavas com princípio resistivo para água e ar e fazem um estudo do escoamento de bolhas dispersas, ondas de fração de vazio instáveis e transição de regimes dinâmicos de escoamento.

Hervieu e Selegim (1998) usam uma configuração de anéis para o princípio resistivo, frequência de 20 kHz, com água e ar a fim de estudar detecção de padrões em escoamentos transientes com mudança de padrões de escoamento em testes dinâmicos e análise tempo-frequência dos sinais aquisitados. Teysseidou e Tye (1999) usam sensor com geometria côncava operando no princípio de capacitância elétrica, frequência de 1MHz, e os fluidos água e ar. Seu trabalho aplica-se para misturas gás líquido onde existe a alta concentração de gás e para escoamentos na horizontal.

Lowe e Rezkallah (1999) apresentam o sensor côncavo com anéis de guardas para confinamento do sinal, utilizando ar e água mas uma frequência de 200Hz, aplicado para identificação de padrões no escoamento gás-líquido em condições de microgravidade. Keska et al. (1999) discutem amplamente os sensores, geometria côncava, capacitivo e resistivo e também método ótico e o método gravimétrico; deste trabalho conclui-se que tanto os sinais capacitivos quanto resistivos são de mesma natureza e possuem grande capacidade de identificação dos padrões de escoamento.

Duarte e Prata (2002) apresentam um trabalho onde usam de simulações numéricas para verificação da intensidade do campo elétrico para eletrodo do tipo anel e também para as placas côncavas. Um sensor côncavo é construído para trabalho com tubos capilares, normalmente utilizados para refrigeração, e posteriormente apresentam o resultado da fração de vazio no tempo para uma determinada vazão mássica da mistura gás-líquido.

Holler (2002) propõe um tomógrafo com 15 eletrodos para o sensoriamento de um escoamento. O foco do trabalho está na forma de tratamento dos sinais e também no hardware utilizado. Dong (2003) apresenta o tomógrafo e faz o uso de redes neurais para o reconhecimento dos padrões utilizando do princípio da capacitância. Jaworek (2004) utiliza sensores de placas côncavas e frequência de 80MHz para a medição de água e vapor à partir da medida da variação da frequência. Reis e Goldstein (2005a) apresentam o sensor côncavo e o sensor duplo helicoidal (2005b), onde a técnica consiste em um finíssimo eletrodo na parte externa do tubo para que as impurezas do escoamento não interfiram no eletrodo; assim, o princípio descrito é o capacitivo e os sinais medidos são em voltagem. As medidas do perfil e velocidade das bolhas alongadas são feitas e comparadas com fotos do escoamento obtidas pela câmera rápida.

Ahmed (2006) apresenta uma discussão sobre o sensor de anéis e o sensor de placas côncavas, veja Figura 4; nesse trabalho ele apresenta diferentes arranjos de escoamento e seu respectivo arranjo capacitivo das fases, seja para as placas côncavas ou para o sensor de anéis; à partir dos resultados o sinal é analisado no tempo, através de PDF (Função densidade de probabilidade) e também de PSD (Densidade de potência espectral).

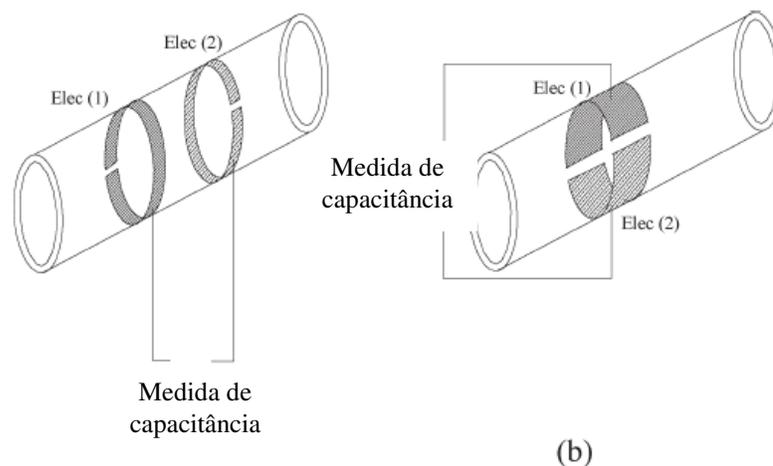


Figura 4: (a) Esquema da configuração dos eletrodos. (a) tipo anel. (b) tipo côncavo.

Ahmed, 2006

O estudo em tubos capilares é feito por Canière et al. (2007) usando sensores côncavos em tubulações com diâmetros de 9 mm e testados para diversos padrões de escoamento. É feita a caracterização do regime de escoamento e também a determinação da fração de vazio à partir de uma curva de calibração da tensão. Tan et al. (2007) apresentam tomógrafo de resistência elétrica para escoamento de ar e água. Nesse trabalho utilizam-se transformadas *wavelet* para análise dos sinais adquiridos. Assim, em escoamentos verticais é feita a reconstrução da imagem a fim de permitir a visualização da mistura gás-líquido.

3 INSTRUMENTO E PRINCÍPIOS FÍSICOS

Esse capítulo apresenta a definição dos componentes do sistema de medida, a escolha da geometria do sensor, os circuitos eletrônicos utilizados e impedância das fases, os princípios físicos que determinam o funcionamento do sensor e o método de cálculo para a resistência e a capacitância.

3.1 Componentes do sistema de medida.

A nomenclatura na área de instrumentação não é muito precisa, dando margem a que autores utilizem muitas vezes as palavras como sensores e transdutores como sinônimos, porém, dependendo das aplicações, elas podem apresentar diferenças significativas. Para representar a relação entre o sensor, o instrumento e a eletrônica temos a Figura 5, que identifica os componentes do sistema de medida. Os elementos pertencentes ao sensor serão apresentados ao longo da dissertação.

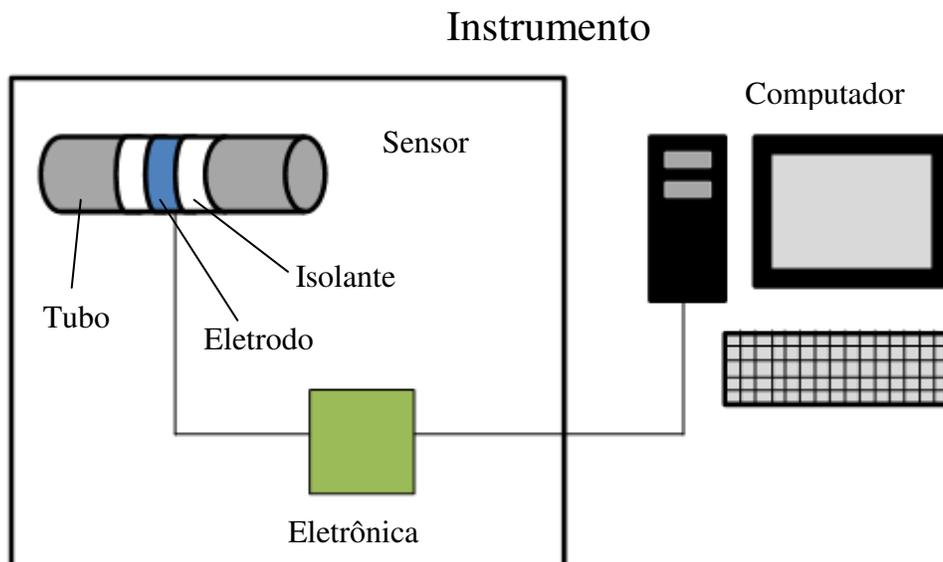


Figura 5 – Identificação dos componentes do sistema de medida.

Nesse trabalho é definida uma nomenclatura para os componentes do instrumento conforme definição dada a seguir e apresentadas na Figura 5:

- A) Instrumento: consiste no equipamento, que é o conjunto de todos os elementos mecânicos e eletrônicos necessários para que seja feita uma medição.
- B) Sensor: parte da estrutura mecânica do instrumento que contém eletrodo principal, isolamento, eletrodo guarda e parte do tubo e está em contato com os fluidos e representa uma interface física que permite geração de sinais.
- C) Eletrônica: é responsável pelos sinais elétricos que são gerados e captados, também pelo seu condicionamento através de amplificação e filtragem. O circuito eletrônico possui conexão com o sensor, mais especificamente eletrodo principal, eletrodos de guarda.
- D) Isolante: parte do sensor responsável pelo isolamento elétrico dos eletrodos em relação ao tubo e entre o eletrodo principal e o eletrodo guarda. Possui baixa constante dielétrica e baixa condutividade.
- E) Eletrodo principal: consiste em um elemento que estará energizado com uma tensão e frequência e será responsável pela geração do campo elétrico que determinará os sinais medidos. Esse é conectado ao conjunto eletrônico e faz parte do conjunto do sensor.
- F) Eletrodo guarda: elemento similar ao eletrodo principal, este é energizado com a mesma tensão e frequência do eletrodo principal, responsável pelo confinamento do campo elétrico do eletrodo principal permitindo assim uma melhor nitidez na aferição dos valores, não representado pela Figura 5.
- G) Tubo: Constitui de um tubo cilíndrico metálico para o transporte dos fluidos e ao mesmo tempo é utilizado como potencial zero (terra) para as linhas de campo dos eletrodos energizados e também como elemento de fixação dos eletrodos.

3.2 Geometria dos sensores.

Para o início dos estudos uma geometria deveria ser escolhida. Assim, à priori do projeto do instrumento foi realizado um estudo computacional preliminar para determinar qual seria a melhor configuração geométrica dos sensores: placas côncavas ou anéis. As geometrias anel e placas côncavas baseiam-se principalmente nos trabalhos de: Tournaire et al. (1986), Andreussi (1988) e Ahmed (2006). Uma representação esquemática do sensor de anéis e de placas côncavas é dada pela Figura 6 e Figura 7, onde é demonstrado o sensor e seus componentes de forma simplificada.

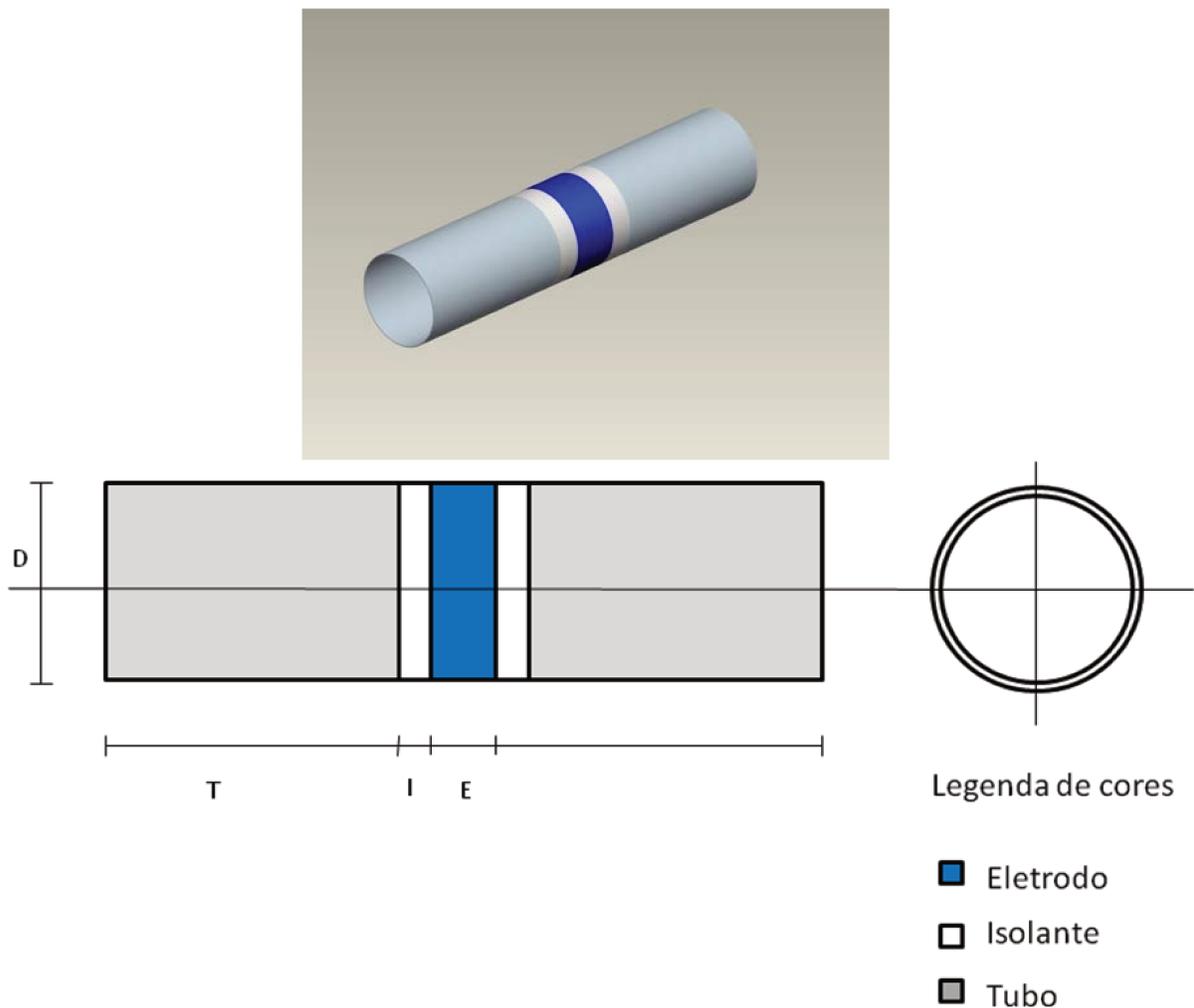


Figura 6 – Desenho 3D e representação esquemática do sensor anel.

Para a Figura 6 temos “E” como o comprimento do eletrodo, “I” como o comprimento do isolante e “T” o comprimento do tubo para o sensor apresentado. O diâmetro do tubo é

representado através de “D”. A representação esquemática do sensor de placas côncavas se dá através da Figura 7.

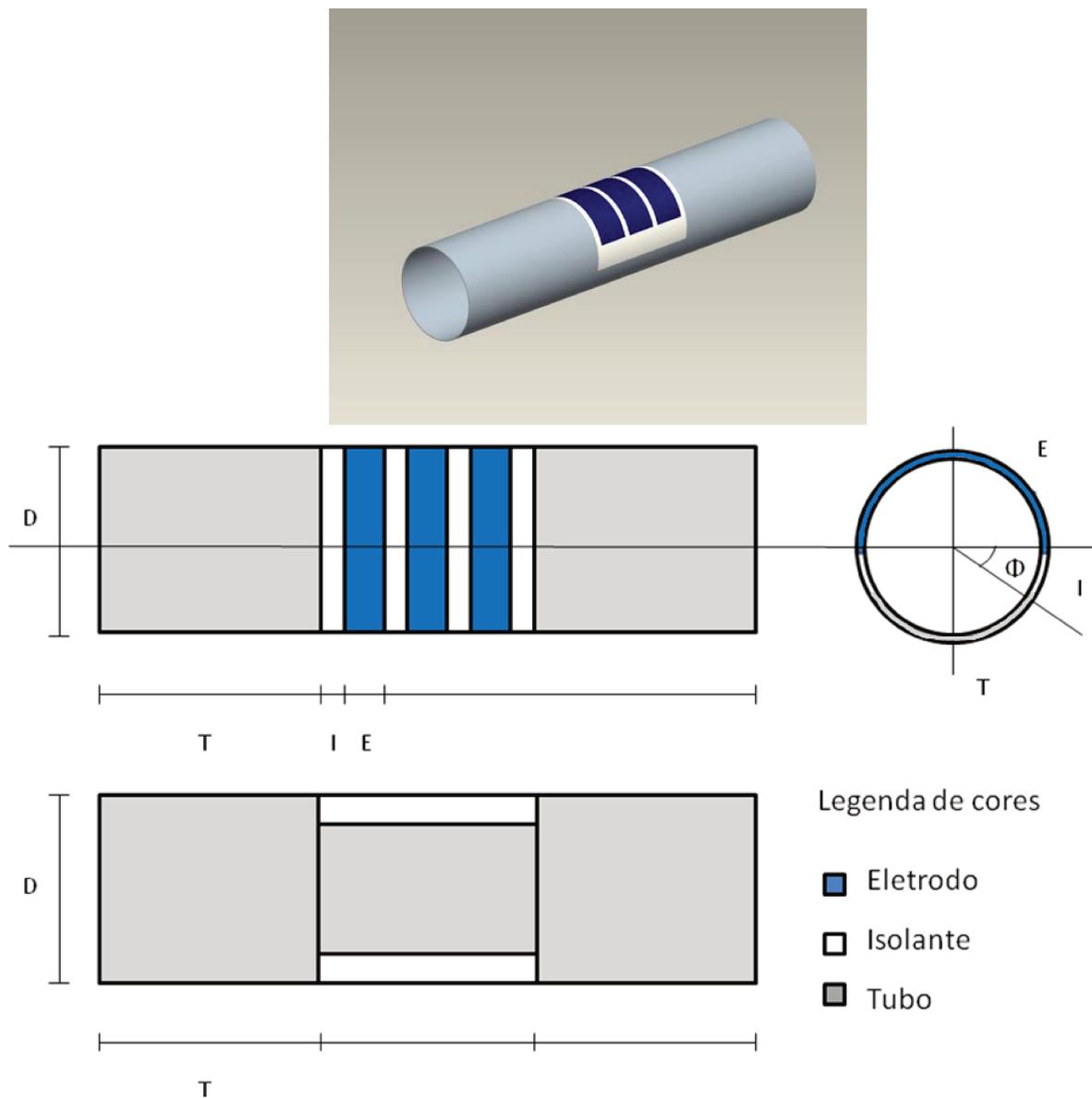


Figura 7 – Desenho 3D e representação esquemática de placas côncavas.

Para a Figura 7 temos “E” como o comprimento axial do eletrodo, “T” como o comprimento do isolante e “T” o comprimento do tubo para o sensor apresentado. Um ângulo Φ representa o comprimento angular do isolante de valor 30° . O comprimento angular dos eletrodos é de 180° . O diâmetro do tubo é representado através de “D”.

As simulações numéricas mostraram que a configuração de anel tem um ganho que cresce à medida que o diâmetro da tubulação aumenta. Por sua vez, os sensores de placas côncavas apresentam um bom desempenho para tubulações de pequeno diâmetro, menor que 12 mm. A medida que o diâmetro cresce a distância entre placas diminui e o ganho diminui proporcionalmente. Na literatura temos o trabalho de Ahmed (2006) que apresenta um estudo referente às dimensões e a sensibilidade do sensor com a variação das dimensões das placas côncavas e um estudo de sensibilidade para a distância entre anéis. O trabalho de Ahmed (2006) não utiliza do tubo aterrado, sendo um guia de como se abordar o problema em questão.

Em vista destas características optou-se pela configuração de anéis por apresentar um ganho maior para tubulações entre 2 polegadas e 6 polegadas, consideradas típicas da produção. Mais detalhes desta simulação comparativa podem ser encontradas no Apêndice 1.

3.3 Circuitos eletrônicos e a impedância das fases.

Para o trabalho desenvolvido são utilizados dois circuitos eletrônicos distintos. Para os testes estáticos é utilizada uma ponte RLC fabricada pela BK Precision modelo 889A. Os testes dinâmicos são realizados utilizando um circuito em ponte que usa amplificador operacional inversor desenvolvido pelo grupo 2PFG e previamente utilizado para outros sensores. É também proposto um modelo para as impedâncias das fases com o objetivo de evidenciar o comportamento elétrico esperado pelos diferentes fluidos trabalhados.

3.3.1 Ponte RLC - BK precision modelo 889A

3.3.1.1 Aspectos gerais

Para as medidas estáticas utilizamos de uma ponte RLC comercial do tipo BK Precision modelo 889A. Esta ponte RLC é capaz de fazer medidas com valores discretos de tensão e frequência com faixas de 25 mV a 1000 mV para a tensão de excitação e de 1 Hz – 200 kHz para a frequência. A combinação adequada de nível de tensão e frequência permite fazer medidas de valores de capacitância (grandeza de nosso maior interesse) de no mínimo 0.795 pF a no máximo

159.1 uF e resistências de no mínimo 0.1Ω e no máximo $20 \text{ M}\Omega$. O equipamento possui uma impedância de saída de 100Ω e pode fazer medidas com técnicas de 2, 3, 4 e 5 fios e ler valores com configuração serial ou paralela.

3.3.1.2 Funcionamento e modo de medida

O funcionamento do Modelo 889A se dá por uma ponte RLC auto balanceada que pode medir resistência, indutância e capacitância de forma isolada ou combinada. Na Figura 8 temos uma ilustração da ponte RLC.

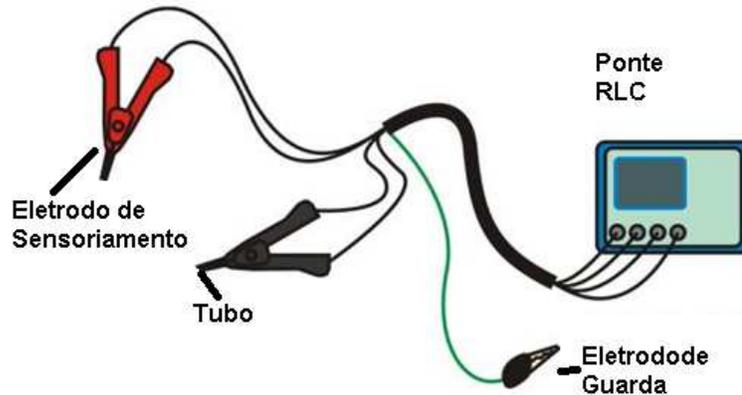


Figura 8 – Ilustração geral da ponte RLC.

A medida pode ser feita com quatro tipos de configuração, sendo eles 2,3,4 e 5 fios que oferecem diferentes faixas de leitura com diferentes resoluções para cada uma. A configuração mais adequada portanto, depende do valor em que a impedância a ser medida se encaixa. Para nosso caso a medida com 3 fios é a mais adequada. Com essa configuração os efeitos de capacitância parasita do cabo de medida são reduzidos o que permite uma leitura mais precisa de valores de capacitância mais baixo. Como sabemos, a impedância é inversamente proporcional à capacitância e à frequência e desta forma, valores muito baixo de capacitância levam a valores altos de impedância. A Figura 9 abaixo mostra a configuração mencionada e a faixa de valores de medição possíveis com essa configuração.

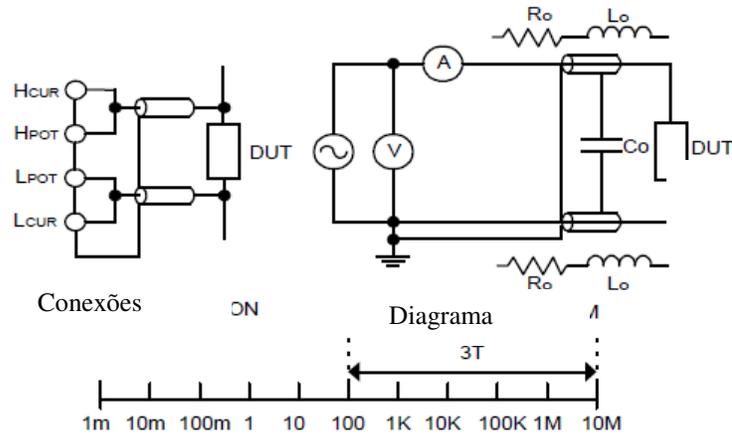


Figura 9 – Conexões para uma medida a três fios e faixa de trabalho.

Os terminais de conexão são identificados por H_{cur} , L_{cur} , H_{pot} e L_{pot} , onde os identificados por H ou L correspondem respectivamente aos terminais vermelho e o preto. Uma vez que o fluxo magnético gerado pelo condutor interno é cancelado pelo fluxo magnético gerado pelo condutor externo (guarda), temos que as medidas poderão variar de 1 mW até 10 MW. Na Figura 9 os parâmetros R_o , L_o e C_o correspondem aos parasitas resistivos, indutivos e capacitivos da ponta de prova e a impedância denominada como DUT corresponde à impedância que será medida.

3.3.1.3 Selecionando o modo série ou paralelo

Quando medimos um capacitor temos que ter em mente que o dispositivo real apresenta parasitas resistivos e indutivos. Para nosso tipo de aplicação o parasita indutivo pode ser ignorado enquanto que o resistivo não. Considerando somente o parasita resistivo temos dois tipos de parasita, um em série com o capacitor que corresponde aos fios de conexão e terminais e outro paralelo ao capacitor que corresponde à condutividade através do dielétrico. Dependendo do valor do capacitor a ser medido podemos desprezar os efeitos do parasita série ou do paralelo, simplificando o modelo conforme pode ser visto na Figura 10.

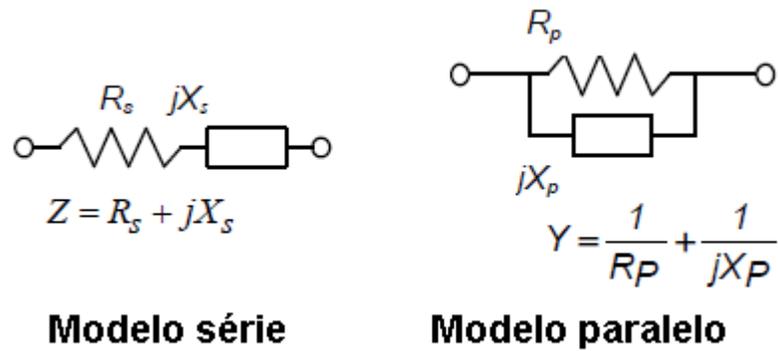


Figura 10 – Simplificação do modelo de medida.

Para medidas de valores de capacitâncias baixos teremos um valor de impedância elevado o que significa que o parasita em série (resistência dos fios de ligação e conexão) influencia pouco na medida, enquanto o parasita paralelo merece maior atenção. Neste caso o modelo de medida paralelo (C_p) é mais adequado. De forma análoga e inversa, medidas de capacitâncias elevadas são mais adequadas para o modelo em série (C_s). Na Figura 11 temos o diagrama elétrico dos dois tipos de parasita e a indicação de qual parasita tem mais efeito e menos efeito para medidas de baixa e alta capacitância. No nosso caso específico, a medida mais adequada é usando o modelo em paralelo, uma vez que os valores de capacitância são baixos.

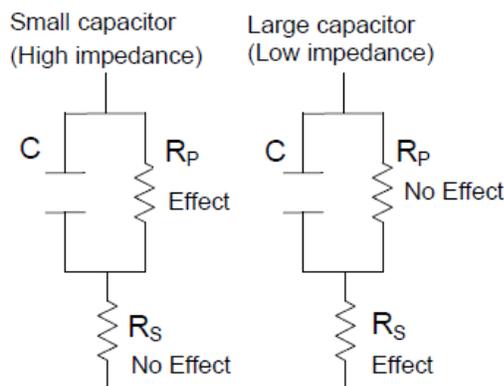


Figura 11 – Modelos de medida para parasita resistivo

Mais detalhes do funcionamento e das opções disponíveis de medida o manual do equipamento é de fácil acesso e pode ser obtido eletronicamente no site do fabricante [3].

3.3.2 Ponte RC com amplificador operacional inversor

O circuito para medida de impedância elétrica de meio nos testes dinâmicos foi desenvolvido no próprio grupo 2PFG de pesquisa. Ele baseia-se num circuito de meia ponte de Wheatstone, sendo que um de seus braços mede o processo e o segundo braço é constituído por um amplificador operacional com ganho e fase ajustáveis. Os circuitos em ponte baseiam-se no princípio do “zeramento”, ou seja, realizam as medidas a partir de um ajuste adequado e conveniente da ponte buscando um ponto de nulo facilmente observável e conseqüentemente facilitando o trabalho de medir. Esta operação, o “zeramento” do circuito, torna o instrumento mais sensível e as medidas mais precisas. Assim como as pontes convencionais o circuito utilizado tem dois braços, um que realiza a medida e outro que realiza o “zeramento”.

A medição da impedância elétrica do processo, Z , é feita através de um circuito eletrônico que opera de modo similar a um amplificador operacional inversor. Sua representação esquemática está na Figura 12, onde V_i é a tensão do oscilador (2V e 300kHz), R_s é a resistência de carga conhecida e Z representa a impedância do processo Z .

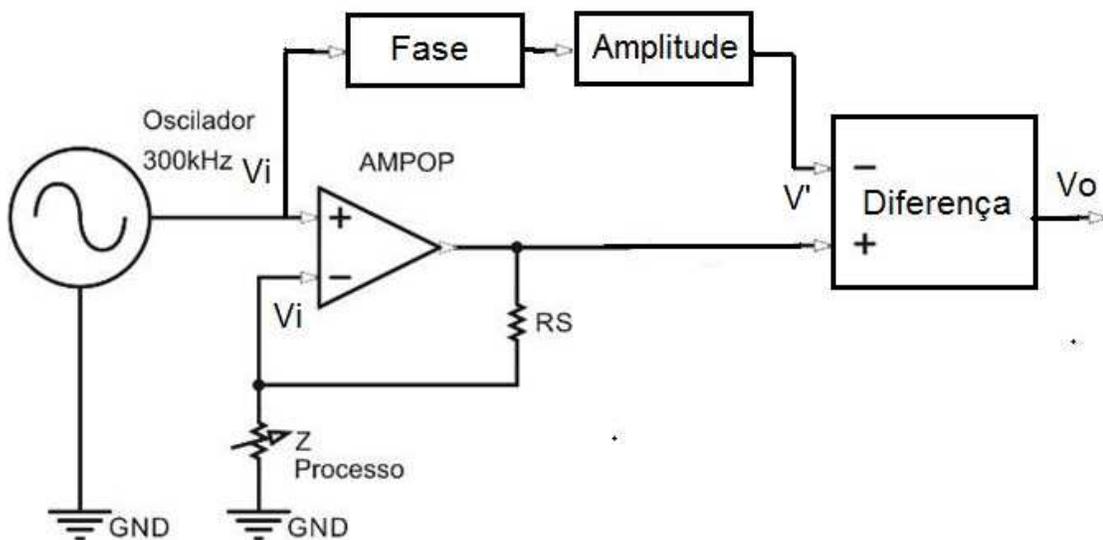


Figura 12 – Circuito eletrônico: amplificador operacional inversor.

A impedância do processo Z_{processo} é relacionada com o sinal de entrada, V_i , com a resistência R_s , e assim obtemos a tensão medida com V_o , assim:

$$V_o = V_i \left(1 + \frac{R_s}{Z_{\text{processo}}} \right). \quad (26)$$

Referindo-se às aplicações deste circuito para medição de fração de vazio ele apresenta um aspecto inovador: a medida de Z é feita a partir de um referencial fixo, o terra. Os circuitos de medida de Z empregados para detecção de fração de vazio adotam o princípio de referencial flutuante, Huang et al. (1988). O fato de Z estar aterrado permite que a própria tubulação possa ser utilizada como eletrodo. Isto permite uma grande simplificação na construção mecânica do carretel que fixará o sensor à tubulação. A desvantagem é que o uso do aterramento não permite que as capacitâncias parasitas sejam completamente eliminadas. As capacitâncias parasitas são minimizadas no projeto mecânico do alojamento do sensor.

3.3.3 Módulo de impedância equivalente

Esta seção desenvolve um modelo elétrico de impedância equivalente da mistura de gás de líquido que se encontra no volume de medida do sensor. As fases gás e líquido são representadas por uma resistência e uma capacitância em paralelo (Huang, 1988).

A representação da impedância da fase gás, Z_g , utiliza sua componente capacitiva, isto é, gases são considerados como não condutores de carga, assim:

$$Z_g = j \frac{1}{\omega C_g}, \quad (27)$$

onde C_g representa a capacitância da fase gás.

A impedância da fase líquida, Z_l , é representada por uma componente resistiva e outra capacitiva:

$$Z_l = R + j \frac{1}{\omega C_l}, \quad (28)$$

onde R e C_l representam, respectivamente, a resistência a passagem de corrente e a capacitância do meio líquido. Os óleos e líquidos orgânicos de uma maneira geral apresentam características puramente capacitivas, isto é, são meios que polarizam cargas, mas não as conduzem. Por sua vez emulsões de água e óleo podem ter um comportamento dependente da concentração de um componente no outro. Galdiano (2010) realizou medidas em emulsões de água e óleo com concentrações volumétricas de água variando entre 5% a 40% e observou que a fase da impedância ficou praticamente constante entre $-89,98^\circ$ a $-89,99^\circ$ sugerindo um comportamento puramente capacitivo. Alguns testes em laboratório mostraram que emulsões de óleo em água, isto é, concentrações de óleo inferiores a 5% apresentaram um comportamento puramente resistivo. Especula-se que pode haver emulsões que, para certas concentrações de óleo, podem apresentar simultaneamente um comportamento resistivo e capacitivo, entretanto os dados de propriedades elétricas de emulsões são escassos na literatura e não foi encontrado nada a este respeito. De forma resumida este trabalho considera fase líquida com comportamento puramente capacitivo ou puramente resistivo.

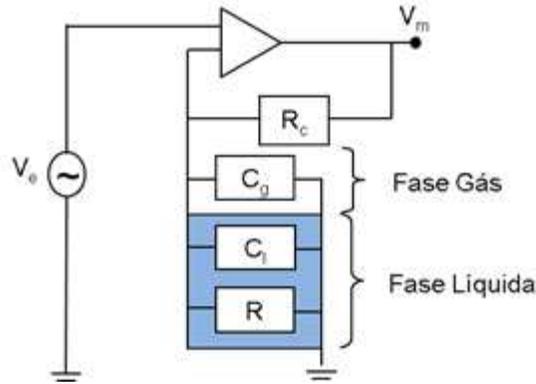


Figura 13 – Representação das impedâncias das fases.

O módulo da impedância do processo, $|Z|$, e sua fase, θ , são representados em função da capacitância, C , da resistência, R , e da frequência angular do oscilador ω como mostrado na Equação (29).

$$|Z| = \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} \quad \text{e} \quad \theta = -\text{ArcTg}(\omega CR). \quad (29)$$

Sendo que C representa a capacitância equivalente da associação em paralelo das capacitâncias do gás e do líquido ou, $C = C_g + C_l$. Por meio da informação da fase dada na Equação (29) pode-se determinar se mistura bifásica que ocupa o volume de amostragem do sensor é predominantemente capacitiva ou resistiva, isto é, se $\theta \rightarrow -90^\circ$ ou $\theta \rightarrow 0^\circ$, respectivamente.

Por exemplo, uma mistura de gás e óleo é predominantemente capacitiva, isto é, o produto $\omega CR \rightarrow \infty$ de forma que $\theta = -90^\circ$ e o módulo da impedância pode ser aproximado por: $|Z| = (\omega C)^{-1}$. De modo complementar uma mistura de gás e emulsão de óleo em água (baixa concentração de óleo) é predominantemente resistiva. O produto $\omega CR \rightarrow 0$ de forma que $\theta = 0$ e o módulo da impedância pode ser aproximado por: $|Z| = R$.

3.4 Princípios físicos do funcionamento do sensor.

O módulo e a fase da impedância do processo são calculados a partir da (29) que por sua vez depende dos valores de C e R definidos em função das propriedades elétricas das fases gás e líquido que estão em contato com o volume de medida do sensor. O objetivo desta sub-seção é definir um modelo cálculo de C e R das fases baseado no potencial elétrico de um campo eletrostático e em função das propriedades elétricas do meio e da geometria do sensor. A finalidade deste modelo é determinar C e R a partir de simulações numéricas do potencial elétrico e das características geométricas particulares do sensor para obter ao final o módulo e a fase da impedância equivalente.

O campo elétrico \vec{E} gerado pelos eletrodos no volume de medida do sensor é conservativo de forma que o seu divergente é nulo, veja Equação (30). A variável φ é uma propriedade elétrica tal que se o meio for dielétrico (polariza cargas) φ é igual a constante dielétrica do meio ϵ e, se o meio for condutor de cargas φ é igual a condutividade elétrica σ . Note que se φ for constante ele representa um meio homogêneo enquanto que se φ depender da posição (x,y,z) no volume ele pode descrever um material com duas ou mais fases como por exemplo um padrão de bolhas de gás dispersas no meio líquido contínuo.

O valor do campo elétrico usualmente não é conhecido no contorno, mas o seu potencial V é. Por este motivo substitui-se a definição de campo elétrico na expressão do divergente resolve-se a Equação (30) em termos de V . Note que para φ constante, a Equação (30) reduz para a equação de Laplace.

$$\nabla \cdot (\varphi \vec{E}) = 0, \quad \text{onde } \vec{E} = -\nabla V \quad (30)$$

O método de solução da Equação (30), o domínio de cálculo e as condições de contorno serão definidos no Capítulo 4.

A capacitância C é calculada pela razão entre a carga polarizada nos eletrodos e a diferença de voltagem entre os anéis e o tubo, no caso V_m , veja Equação (31). Por sua vez a carga elétrica Q

acumulada na superfície dos eletrodos é estimada por meio da Lei de Gauss, veja Equação (31), onde S é a superfície dos eletrodos que estão em contato com o fluido no interior do tubo, n é o vetor normal às superfícies dos eletrodos.

$$C = \frac{Q}{V_m} = \frac{\oint_s \epsilon (\vec{E} \cdot \vec{n}) dA}{V_m}. \quad (31)$$

De modo complementar, a resistência equivalente é calculada por meio da razão entre a diferença de voltagem entre os eletrodos V_m e a corrente I, veja Equação (32). A corrente I que cruza a mistura bifásica pode ser avaliada por meio da lei de Ohm generalizada conforme mostrado na Equação (32):

$$R = \frac{V_m}{I} = \frac{V_m}{\oint_s \sigma (\vec{E} \cdot \vec{n}) dA}. \quad (32)$$

As Equações (31) e (32) permitem que a capacitância e a resistência equivalentes do meio bifásico sejam calculadas por meio das propriedades elétricas do meio, pelo fluxo do vetor campo elétrico avaliado na superfície dos eletrodos e pela tensão V_m . A partir das Equações (31) e (32) pode-se mostrar, para um fluido monofásico, que o produto entre R e C é uma constante que depende somente de ϵ e σ , isto é:

$$RC = \frac{\epsilon}{\sigma}. \quad (33)$$

3.5 Método de cálculo para C e R

O módulo e a fase da impedância do processo são calculados a partir da (29) que por sua vez depende dos valores de C e R definidos em função das propriedades elétricas das fases gás e

líquido que estão em contato com o volume de medida do sensor. O objetivo desta sub-seção é definir um modelo cálculo de C e R das fases baseado no potencial elétrico de um campo eletrostático e em função das propriedades elétricas do meio e da geometria do sensor. A finalidade deste modelo é determinar C e R a partir de simulações numéricas do potencial elétrico e das características geométricas particulares do sensor para obter ao final o módulo e a fase da impedância equivalente.

Para o cálculo de R e C equivalentes é necessário:

- (i) Determinar o potencial elétrico V a partir da Equação (30);
- (ii) Calcular o vetor campo elétrico \vec{E} , Equação (30), pós-processando o campo escalar de V;
- (iii) pós-processar o campo de \vec{E} para calcular C e R conforme definido pelas Equações (31) e (32).

O cálculo de V para os sensores estudados requer uma solução numérica. O domínio da equação é o interior do tubo tendo como fronteira as paredes do tubo e as superfícies dos eletrodos. Considera-se que os eletrodos estão a um potencial V_m . O tubo em si age como o eletrodo terra, isto é, ele está no potencial zero. Os isolantes são também considerados como parte da parede do tubo, porém nestes elementos o gradiente de V é nulo.

O cálculo de V é realizado no software comercial Phoenics® através do método dos volumes finitos. A equação de conservação de \vec{E} é discretizada numa malha estruturada em um sistema de coordenadas axi-simétrico devido a simetria azimutal que os anéis apresentam.

As condições de contorno são: eletrodos energizados com potencial de 1 Volt e tubo aterrado está em um potencial de 0 Volt. As propriedades do domínio são a condutividade e o dielétrico dos materiais sólidos (tubo e isolante) assim como dos fluidos. À partir dessas informações é calculado o potencial elétrico V.

Uma vez conhecido o potencial elétrico no domínio de cálculo aplica-se uma rotina de pós-processamento, escrita dentro do pacote computacional, para obter o vetor campo elétrico \vec{E} ,

etapa (ii). Na seqüência C e R são obtidos a partir do fluxo de \vec{E} pelos eletrodos por meio de outra rotina de pós-processamento escrita dentro do pacote, etapa (iii).

A Figura 14 mostra uma simulação das linhas tangenciais ao vetor campo elétrico \vec{E} . Na figura também são identificados os eletrodos, o isolante, o tubo metálico e por fim o fluido onde se deseja conhecer o R e C equivalentes.

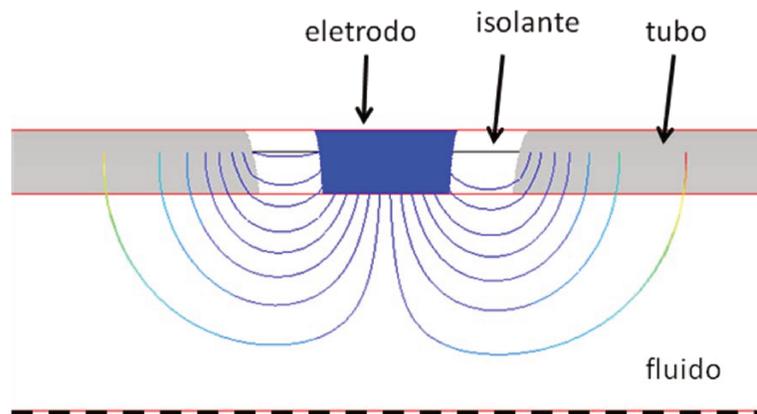


Figura 14 – Linhas de campo elétrico obtidas por simulação numérica.

A Figura 14 apresenta as linhas de campo elétrico da simulação numérica para o modelo simplificado de eletrodo, isolante e tubo na configuração geométrica de anel. O software é capaz de apresentar as linhas de campo elétrico correspondente e percebe-se que, para essa configuração apresentada as linhas não adentram até o centro do tubo. Assim as estratégias para a configuração que atente os interesses para o sensor anel será apresentada e discutida no Capítulo 4.

4 CONCEPÇÃO DO SENSOR E MODELAGEM

4.1 Introdução

Este capítulo aborda todo o desenvolvimento da modelagem e, por conseqüência, apresenta o maior número de tópicos assim como o maior número de páginas. Com o interesse de auxiliar a compreensão das idéias expostas ao longo do texto foi preparada uma descrição da estrutura dos tópicos do capítulo e seus objetivos.

A seção 4.2 faz uma análise de possíveis configurações geométrica com sensores de anéis e analisa entre elas aquela que apresenta o melhor compromisso entre maior sensibilidade e menor parasita. Na seqüência é definida a geometria dos eletrodos selecionada.

As seções 4.3 e 4.4 são similares no sentido que a primeira desenvolve o modelo algébrico para a capacitância, C , enquanto que a segunda para a resistência elétrica, R , do sensor. Neste sentido a estrutura dos tópicos de ambas será apresentada simultaneamente. Primeiro é desenvolvido um modelo algébrico quando o sensor está preenchido com um único fluido. A análise busca estabelecer uma constante de proporcionalidade para os eletrodos devido à configuração geométrica escolhida e também analisa o efeito da variação do diâmetro no valor da impedância. Na seqüência os modelos algébricos são estendidos para uma configuração onde o sensor está preenchido com uma mistura de gás e líquido. Quando duas fases estão presentes no volume de medida do sensor os valores de R e C passarão a depender da distribuição espacial das fases. O conhecimento da distribuição espacial das fases passa necessariamente pela determinação do padrão do escoamento. Este estudo restringiu a análise para padrões que ocorrem num escoamento vertical ascendente considerando apenas três padrões: bolhas dispersas, anular e o intermitente em golfadas de líquido. Para fins de simulação numérica dos valores para R e C são usados apenas dois padrões: bolhas dispersas e o anular. O padrão intermitente em golfadas de líquido é considerado uma combinação destes dois últimos.

A seção 4.5 traz um modelo generalizado de impedância elétrica quando o sensor está preenchido com um único fluido assim como uma tabela sumarizando os principais resultados obtidos das seções 4.3 e 4.4. As aproximações envolvidas na redução dos dados numéricos para

simples expressões algébricas são comparadas contra os valores numéricos para acessar sua precisão.

A seção 4.6 traz um sumário dos modelos algébricos para misturas de gás e líquido aplicados aos padrões anular e bolhas dispersa assim como faz comentários a cerca da aplicação destes modelos.

A seção 4.7 apresenta um mapeamento da fração de vazio do sensor por meio dos modelos algébricos desenvolvidos para os padrões anular e bolhas dispersas. As relações desenvolvidas para C e R estão diretamente relacionadas com a fração de vazio, mas não com a voltagem de saída do sensor. A partir do conhecimento do princípio de funcionamento do circuito eletrônico foi possível estabelecer uma relação entre C e R e a voltagem de saída. Desta forma pôde-se relacionar diretamente o sinal de voltagem de saída do sensor com a fração de vazio. A relação entre estas duas variáveis é denominada por mapeamento ou também por curva de calibração do instrumento. Ela foi obtida exclusivamente através de dados numéricos.

4.2 Configuração geométrica do sensor

4.2.1 Estudo de configurações geométricas para o sensor de anéis

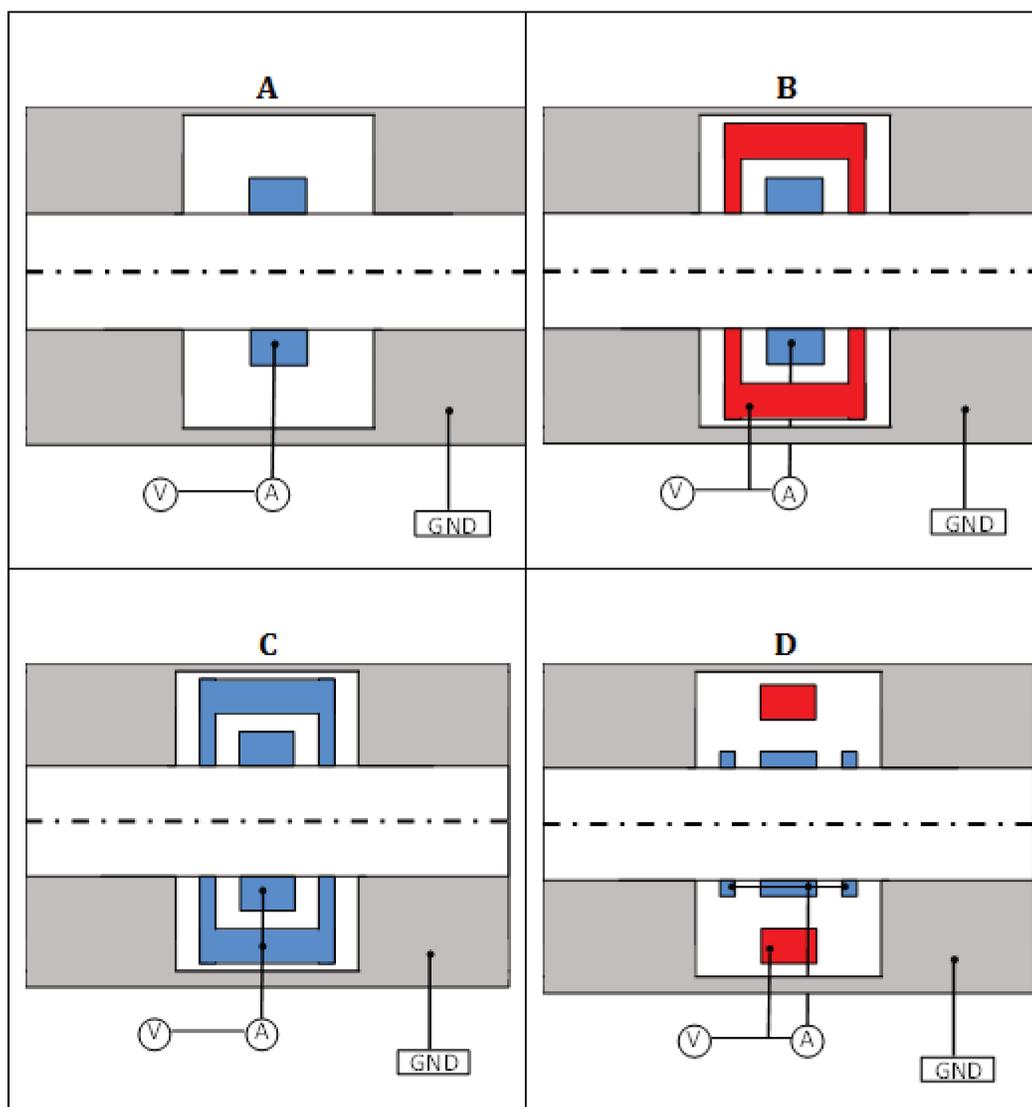
Os sensores a serem estudados apresentam as configurações geométricas mostradas na Figura 15. A configuração 'A' apresenta uma geometria mais simples, contendo apenas um eletrodo de sensoriamento que consiste em um anel simples metálico, existe um isolamento que o separa do tubo aterrado e esse isolamento é constituído de PVC. A configuração 'B' apresenta um eletrodo de guarda cujo objetivo é evitar que existam capacitâncias parasitas entre o eletrodo central, de dimensões idênticas ao eletrodo apresentado pela configuração 'A', e o tubo. A configuração 'C' considera a configuração 'B', mas transformando o eletrodo de guarda em eletrodo de sensoriamento, temos assim 2 eletrodos de sensoriamento. Por fim a configuração 'D' consiste em uma mistura dos modelos 'B' e 'C', com eletrodo guarda e 3 eletrodos de sensoriamento. Os sensores apresentados possuem as dimensões dadas em múltiplos ou submúltiplos do diâmetro interno do tubo segundo a Tabela 4.

Tabela 4 – Dimensões do Sensor de Anéis múltiplos do diâmetro

Configuração		Dimensões		
		Eletrodo Sensoriamento	Eletrodo Borda	Isolante
A	Comprimento	0,4.D	-	0,225.D
	Espessura	0,15.D	-	0,15.D
B	Comprimento	0,4.D	-	0,075.D
	Espessura	0,15.D	-	0,15.D
C	Comprimento	0,4.D	0,075.D	0,075.D
	Espessura	0,15.D	0,15.D	0,15.D
D	Comprimento	0,4.D	0,075.D	0,075.D
	Espessura	0,15.D	0,15.D	0,15.D

O mérito das configurações propostas na Figura 15 é analisado, de forma separada, para dois meios dielétricos com $\epsilon_r = 1$ e $\epsilon_r = 3,4$ considerando três critérios:

1. Sinal vazio.
2. Variação do sinal cheio-vazio.
3. Sensibilidade de borda.



■ Eletrodo de Guarda
 ■ Eletrodo de Sensoriamento
 ■ Tubo □ Isolante
 (A) Medidor de Corrente
 (V) Tensão

Figura 15 – A configuração ‘A’ apresenta apenas um eletrodo de sensoriamento. A configuração ‘B’ apresenta um guarda e um eletrodo de sensoriamento. A configuração ‘C’ apresenta dois eletrodos de sensoriamento e a configuração ‘D’ apresenta 3 eletrodos de sensoriamento e um eletrodo de guarda.

O sinal vazio consiste na capacitância que o sensor apresenta quando preenchido com ar. O sinal é composto pela capacitância do ar e das parasitas que agem no sensor. A variação do sinal

cheio-vazio é a diferença entre o sensor cheio do fluido com $\epsilon_r = 3,4$ e com $\epsilon_r = 1,0$. Esta variável revela a sensibilidade do sensor frente à mudança de dielétrico e é definida por:

$$\Delta = C_{\epsilon_r=3,4} - C_{\epsilon_r=1}$$

Por último, a sensibilidade de borda avalia a sensibilidade do sensor frente a um filme fino do fluido com $\epsilon_r = 3,4$. Neste caso os fluidos se dispõem dentro do sensor num arranjo anular com um anel externo em contato com a parede do tubo preenchido pelo fluido com $\epsilon_r = 3,4$ e um cilindro concêntrico com fluido $\epsilon_r = 1$. Neste teste é verificado como a variação da espessura da camada de fluido com $\epsilon_r = 3,4$ expressa em termos do complemento da fração de vazio α influencia a variação da capacitância relativa, C^* , ambas definidas nas Equação (36) e

$$\alpha = \frac{A_{ar}}{A_{total}} = \frac{D_{ar}^2}{D_{total}^2}$$

$$C^* = \frac{C - C_{ar}}{C_{cheio} - C_{ar}}$$

onde na Equação (35) D_{ar} e D_{total} referem-se, respectivamente, aos diâmetros do núcleo cilíndrico concêntrico ao tubo preenchido pelo fluido com $\epsilon_r=1$ e ao diâmetro do tubo. Enquanto que o parâmetro C^* expressa a variação relativa da capacitância o parâmetro α é uma medida da fração da área do tubo ocupada pelo fluido com $\epsilon_r=1$ ou se preferir, $1-\alpha$ está diretamente relacionado à espessura relativa do filme do fluido junto a parede.

Existem outros fatores limitantes relativos à geometria construtiva do sensor tais como: materiais, dimensões e tolerâncias de fabricação das peças. Por exemplo, os materiais que dispomos para construção são basicamente aço INOX, PVC e vedação de borracha nitrílica na forma ‘o-ring’. A oficina mecânica do DE dispõe de máquinas ferramentas com tolerância de décimos de milímetros.

Quanto maior o valor de Δ maior é a sensibilidade do sensor quando aplicado a fluidos com diferentes dielétricos. O sinal vazio traz uma informação relativa à capacitância parasita do

sensor, sendo assim quanto menor, melhor. A Tabela 5 apresenta o valor em pF das configurações dos sensores A, B, C e D para o sinal cheio-vazio e também para o sinal vazio. As estimativas da capacitância para as diversas configurações foram obtidas por simulação numérica utilizando o software Phoenix[®]. Considerando o sinal cheio-vazio temos que o sensor B apresenta o menor valor de variação, já o sensor A apresenta um valor 50% maior que o sensor B e os sensores C e D apresentam mais que o dobro do valor de variação do sensor B. Para esse parâmetro se destacam os sensores C e D. Para o sinal vazio temos que o melhor desempenho é o do Sensor B com um resultado muito melhor que os outros sensores. Já o sensor A e sensor D apresentam um resultado intermediário e o sensor C apresenta o pior resultado.

Tabela 5 – Valores em pF do sinal vazio e sinal cheio-vazio para as configurações de sensores A, B, C e D.

Parâmetros	Sensor	Sensor B	Sensor C	Sensor
	A			D
Sinal cheio-vazio (pF)	1,28	0,84	2,80	2,56
Sinal vazio (pF)	13,77	0,34	76,88	13,01

Já a relação α/C^* revela a sensibilidade de borda das configurações apresentadas em arranjos anulares. Quanto maior essa relação maior a sensibilidade que nosso sensor terá para a configuração anular. A sensibilidade de borda é avaliada a partir da variação de C^* por $(1-\alpha)$: quanto maior o valor de C^* pelo valor de $(1-\alpha)$ melhor. A Tabela 6 mostra os valores de C^* com a relação entre a fração de líquido $(1-\alpha)$ para as configurações A, B, C e D de sensores. Os maiores valores de C^* por $(1-\alpha)$ são observados para as configurações C e D, já as configurações A e B são incapazes de identificar frações de líquido iguais ou menores a a 0%, tornando-se inapropriadas para esse tipo de medida.

Tabela 6 – Sensibilidade de borda: relação entre a fração de líquido, $1-\alpha$, e a capacitância relativa, C^* , para as configurações A, B, C e D dos sensores.

Fração de Líquido ($1-\alpha$)	Valores de C^*			
	Sensor A	Sensor B	Sensor C	Sensor D
20%	15%	6%	51%	48%
10%	0%	0%	29%	31%

Baseado nos resultados apresentados nas Tabela 5 e Tabela 6 considera-se que a configuração D é aquela que apresenta o melhor compromisso entre a variação do sinal cheio-vazio e sensibilidade de borda mantendo ainda um baixo valor do sinal vazio. Essa configuração D passará a ser identificada como a configuração do sensor de anéis. A partir desta configuração serão desenvolvidos estudos referentes à sua capacitância, resistência e impedância elétrica para permitir a previsão de seu comportamento, calibração e dimensionamento.

A Figura 14 mostra uma simulação das linhas tangenciais ao vetor campo elétrico \vec{E} . Na figura também são identificados os eletrodos, o material isolante, o tubo metálico e por fim o fluido onde se deseja conhecer o R e C equivalentes. A Figura 14 revela que o eletrodo central é responsável pelas linhas de campo elétrico que atravessam a porção central do tubo enquanto as linhas de campo elétrico providas dos eletrodos laterais percorrem a borda do tubo. Essa composição é responsável por uma forma mais efetiva de sensoriamento dos eventos no que ocorrem tanto no centro do tubo como em sua periferia.

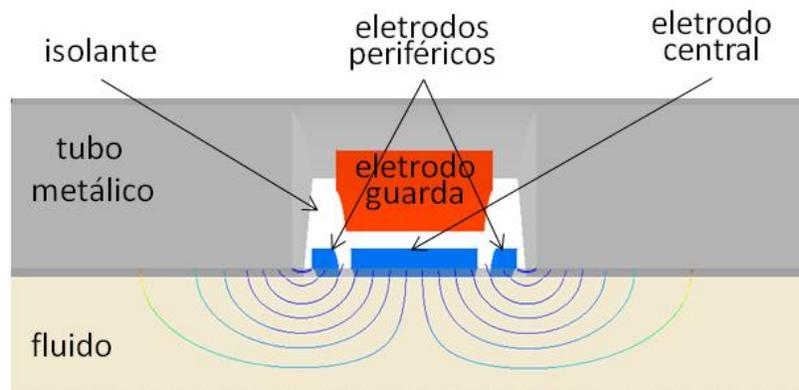


Figura 16 – Linhas de campo elétrico obtidas por simulação numérica.

4.2.2 Definição da configuração escolhida para o sensor de anéis

A configuração que apresenta a maior variação entre cheio e vazio, a menor parasita e a maior sensibilidade é a configuração D. A partir dela foi feita uma montagem mecânica do sensor que é constituído por 12 peças. O sensor e seus componentes estão representados na Figura 17.

O sensor é composto por três eletrodos de sensoriamento e um eletrodo guarda. Os eletrodos de sensoriamento são responsáveis pelas medidas, os de borda responsáveis pelas medidas mais próximas à borda e o eletrodo central para medidas relacionadas ao interior do tubo. O eletrodo guarda é responsável por minimizar a capacitância parasita causada pelo eletrodo central, assim o eletrodo guarda possui o mesmo potencial dos eletrodos de sensoriamento, entretanto sua corrente não é aferida e não faz parte das medidas que serão produzidas. O isolante é responsável pela não condução elétrica entre os eletrodos e o tubo e também para minimizar o dielétrico para minimizar as capacitâncias parasitas. A haste é responsável pela ligação do eletrodo ao circuito eletrônico de acionamento do sensor.

Os desenhos construtivos do sensor estão no Apêndice C que identifica cada componente e informa suas dimensões. As dimensões definidas no desenho mecânico do Apêndice C são consideradas dimensões de referência para esta configuração de sensor. Por dimensões de referência entende-se o diâmetro interno e externo dos anéis, o espaçamento entre os anéis, a espessura de isolamento elétrico, o diâmetro interno do tubo e todas as outras dimensões geométricas associadas. Os modelos de previsão de impedância elétrica que serão desenvolvidos a seguir aplicam-se para esta geometria. A validade destes modelos para tubos com diâmetros diferentes do tubo de referência é garantida desde que o novo modelo seja geometricamente similar ao modelo de referência. O diâmetro interno do tubo de referência é igual a 26,4 mm.

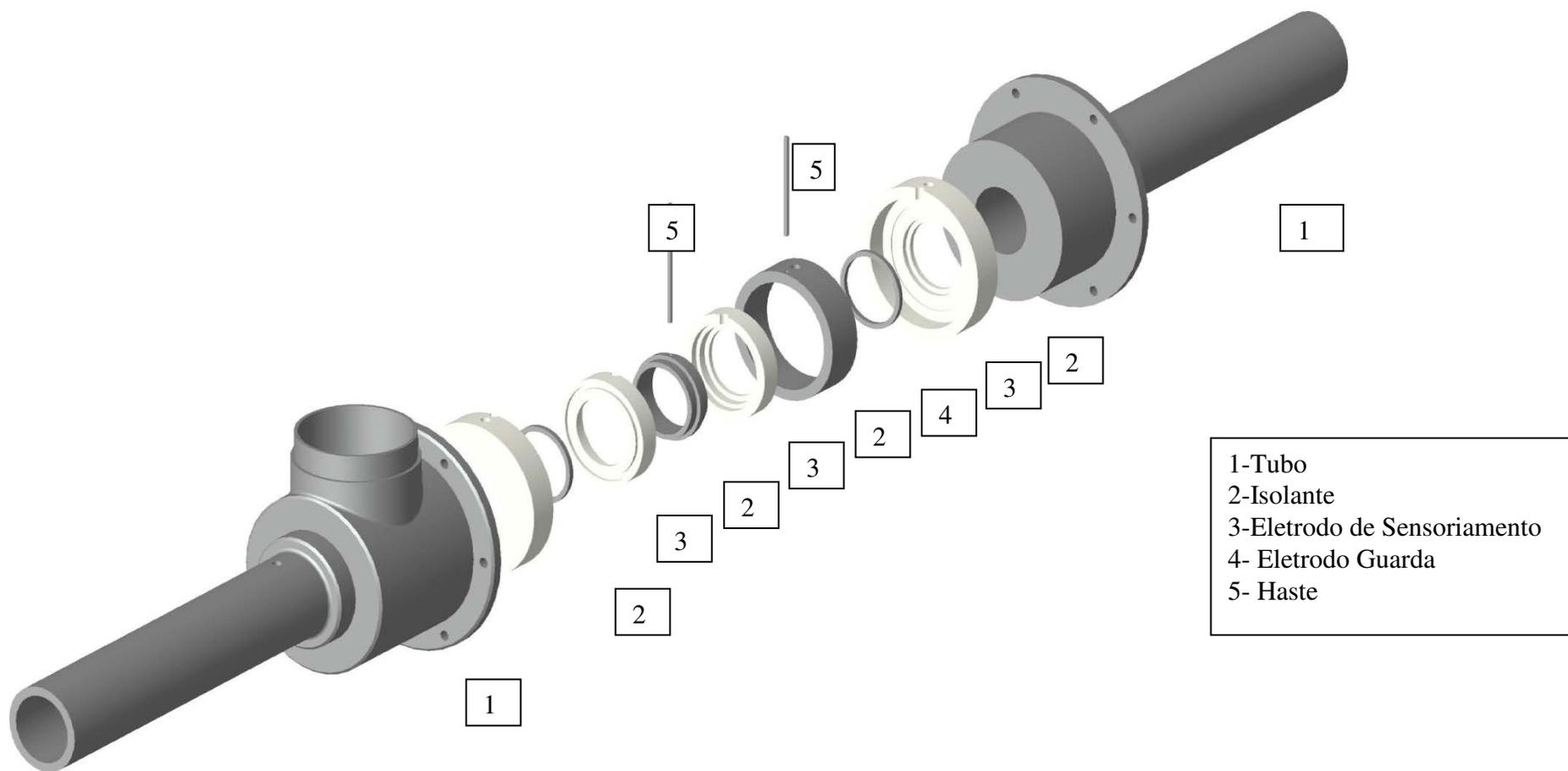
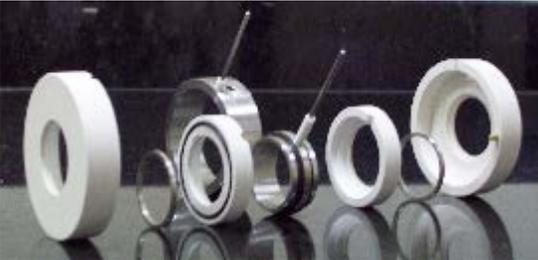


Figura 17 – Representação esquemática dos componentes do Sensor modelo D com apresentação do tubo, isolante, eletrodo de sensoriamento, eletrodo guarda e haste.

Tabela 7 – Conjunto de fotografias dos componentes do sensor e sua montagem

<p>Conjunto de peças a ser montado dentro da carcaça.</p>	<p>Detalhes componentes sensor: isolantes e eletrodos.</p>	<p>Isolante com eletrodos periféricos montados.</p>
		
<p>Eletrodos guarda, principal, haste e isolante.</p>	<p>Isolante do eletrodo de guarda.</p>	<p>Conjunto de eletrodos isolados e montados</p>
		

4.3 Modelo algébrico para capacitância do sensor de anéis

Nesta seção é desenvolvido um modelo algébrico aproximado para previsão da capacitância do sensor quando operando com fluidos dielétricos. Nas duas subseções seguintes são propostos modelos que consideram o efeito da variação do dielétrico e do diâmetro do tubo na capacitância quando existe somente um fluido no volume de amostragem do sensor. Na sequência são propostos modelos quando há dois fluidos com dielétricos diferentes dentro do volume de amostragem. Para estes casos são desenvolvidos modelos para os padrões anular e disperso¹.

O modelo de previsão da capacitância consiste em uma relação entre o dielétrico, a área do capacitor A , a distância d entre eletrodos e do fator de forma geométrico G . Este último permitirá adequar nossa formulação à geometria escolhida. O modelo é expresso na equação (37):

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} G \quad (37)$$

Reconhecendo que a dimensão principal do sensor é o diâmetro do tubo, D , propõe-se expressar o produto $(A/d)G$ por meio do produto $D.K$ onde K passa a ser uma constante de proporcionalidade entre sensores geometricamente similares. Assim a Equação (37) passa a ser

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r DK \quad (38)$$

O cálculo da constante de proporcionalidade K baseia-se nos resultados de capacitância obtidos por meio de simulação numérica. Uma vez conhecido a capacitância de uma determinada configuração a constante K é determinada rearranjando a equação (38) de forma que:

$$K = \frac{C}{D \epsilon_0 \epsilon_r} \quad (39)$$

¹Padrão Anular (Taitel et al., 1980) é composto de dois fluidos onde se caracteriza pela continuidade da concentração da fase gasosa no centro da tubulação. Padrão disperso é caracterizado pela distribuição uniforme de pequenas bolhas gasosas ao longo de uma fase líquida contínua.

4.3.1 Constante de proporcionalidade do modelo de capacitância

O sensor, como instrumento de medida, tem por finalidade detectar a variação da capacitância somente dentro do volume de medida, porém há uma capacitância adicional ao sinal referente à polarização nas camadas de material isolante entre os anéis e o meio externo. Esta capacitância adicional é freqüentemente denominada por capacitância parasita porque ela vem junto com o sinal. Assim pode-se definir a capacitância medida como sendo a composição de um valor ideal mais o parasita:

$$C_{\text{real}} = C_{\text{ideal}} + C_{\text{parasita}} \quad (40)$$

Pode-se também definir a razão entre a parasita e real por meio do parâmetro β :

$$\beta = \frac{C_{\text{ideal}}}{C_{\text{real}}} \leq 1 \quad (41)$$

Do ponto de vista numérico pode-se estimar a capacitância ideal fazendo com que a constante dielétrica do material isolante entre os anéis e o tubo metálico seja zero. Isto só pode ser realizado numericamente uma vez que o material com menor constante dielétrica é o ar com $\epsilon_r = 1,0$. Forçando no modelo numérico que a constante dielétrica do isolante seja nula impede que haja armazenamento de carga via parasita. Assim a capacitância estimada equivale a uma capacitância ideal, isto é, aquela sem os efeitos parasitas. Por outro lado, ao considerar o dielétrico do material isolante, no caso PVC cuja constante dielétrica é $\epsilon_r = 3,4$, pode-se similarmente determinar a capacitância real. Por referência, as simulações numéricas para o cálculo das capacitâncias consideram uma diferença de voltagem de 1V entre o eletrodo e o tubo que está aterrado.

A Tabela 8 traz as estimativas das capacitâncias real, ideal e parasita assim como o fator β para diferentes dielétricos. Percebemos a forte influência da capacitância parasita para valores de capacitância cujo dielétrico é próximo ao dielétrico do isolante. Isto pode ser facilmente identificado inspecionando o fator β que indica a relação entre a capacitância ideal e a capacitância real. Para um valor maior de dielétrico o efeito da parasita fica fortemente minimizado.

Tabela 8 – Capacitância real, capacitância ideal, capacitância parasita e o fator β para meios com diferentes dielétricos.

Dielétrico ϵ_r	C. Real (pF)	C. Ideal (pF)	C. Parasita (pF)	β (%)
1	13,0	1,2	11,9	9
2,5	14,9	3,0	11,7	20
3,4	15,6	4,1	11,5	25
80	101,2	92,0	9,2	91

Por meio das estimativas da capacitância dadas pode-se determinar a constante de proporcionalidade para o meio real e o meio ideal, isto é, K e K_{ideal} de acordo com a equação (39). Por meio de um ajuste de mínimos quadrados pode-se mostrar que:

$$K_{ideal} \cong 4,9 \quad (42)$$

Por outro lado a diferença $K - K_{ideal}$ é mostrada na Figura 18 em função da constante dielétrica do meio. Observa-se que a curva de melhor ajuste mostra que:

$$K - K_{ideal} \cong \frac{49}{\epsilon_r} \quad (43)$$

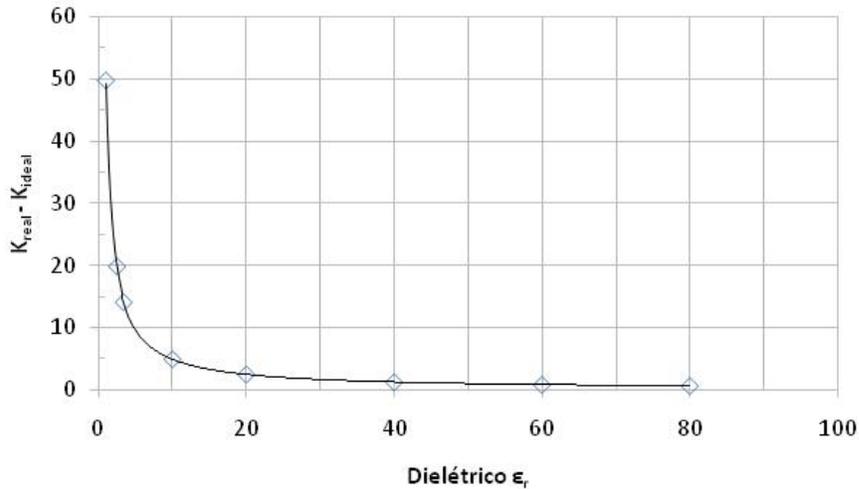


Figura 18 – Variação da diferença $K - K_{ideal}$ em função do valor da constante dielétrica.

Substituindo as Equações (42) e (43) na Equação (38) obtêm-se o modelo algébrico para a capacitância em função dos parâmetros D , ϵ_r , ϵ_0 e K_{ideal} :

$$C \approx \epsilon_0 \left(\frac{10}{K} \right) \frac{D}{ideal} \quad (44)$$

4.3.2 Efeito da variação do diâmetro no modelo algébrico

O modelo algébrico proposto na Equação (38) prevê uma variação linear do valor da capacitância com o aumento do diâmetro. A dependência do modelo com a variação do diâmetro é testada contra valores de capacitância obtidos por simulação numérica para tubos com diferentes diâmetros e em meios dielétricos distintos. A Tabela 9 mostra os valores das capacitâncias estimadas através das simulações computacionais e também através da utilização da Equação (44) onde comparamos o modelo algébrico de capacitância real em pF para tubulações com diâmetros variando entre 0,026 m a 0,208 m em meios com constantes dielétricas variando entre 1 e 80.

Tabela 9 – Valores de capacitâncias em pF para diferentes dielétricos e diâmetros do tubo do sensor.

Diâmetro Interno Sensor (m)	Capacitância (pF)							
	C (pF) Equação (44)				Simulação Phoenics			
	$\epsilon_r = 1$	$\epsilon_r = 2,5$	$\epsilon_r = 3,4$	$\epsilon_r = 80$	$\epsilon_r = 1$	$\epsilon_r = 2,5$	$\epsilon_r = 3,4$	$\epsilon_r = 80$
0,026	12,4	14,1	15,1	101,5	13,0	14,9	15,6	101,2
0,052	24,8	28,2	30,2	202,9	25,0	28,5	30,6	203,3
0,104	49,6	56,4	60,4	405,9	49,9	56,9	61,0	405,9
0,208	99,2	112,7	120,9	811,8	101,2	113,9	122,1	811,2

Para efeito de comparação entre a capacitância prevista pelo modelo, equação (44), e aquela simulada computacionalmente será avaliado o erro entre elas através da Equação(45).

$$\text{Erro} = \left| \frac{C_{\text{analítico}} - C_{\text{simulado}}}{C_{\text{simulado}}} \right|. \quad (45)$$

Uma inspeção na Tabela 10 mostra que o erro é menor ou igual a 5%, valor considerável aceitável para um modelo algébrico cuja finalidade é estimar o valor da capacitância.

Tabela 10 – Erro entre o modelo dado na Equação(44) e a estimativa numérica da capacitância para diferentes dielétricos e diâmetros internos de sensores.

Diâmetro Interno Sensor (m)	Erro (%)			
	$\epsilon_r = 1$	$\epsilon_r = 2,5$	$\epsilon_r = 3,4$	$\epsilon_r = 80$
0,026	5%	5%	3%	0%
0,052	1%	1%	1%	0%
0,104	1%	1%	1%	0%
0,208	2%	1%	1%	0%

4.3.3 Extensão do modelo para gás-líquido: padrão anular

Para um escoamento vertical ascendente de gás e líquido onde a vazão de gás é elevada as fases ficam distribuídas num arranjo anular. A fase gás escoa no núcleo do tubo enquanto que um filme de líquido escoa junto à parede (Taitel et al., 1980). Este padrão de escoamento ocorre para frações de vazio com valores superiores a 90%. A análise desenvolvida engloba as frações de vazio entre 80 % até o preenchimento total do volume de medida pelo ar, $\varepsilon_r = 1,0$. A análise será feita para dois pares de dielétricos $\{\varepsilon_r = 1,0 ; \varepsilon_r = 2,5\}$ e $\{\varepsilon_r = 1,0 ; \varepsilon_r = 80\}$ que são aqui considerados como representantes dos limites inferior e superior da aplicação deste instrumento.

A Figura 19 mostra as previsões numéricas da capacitância relativa, C^* , em função do complementar da fração de vazio, ou se preferir, a fração de líquido. Observa-se que comportamento semelhante de C^* versus $(1-\alpha)$ para os dois pares de dielétricos. Além disto, para $(1-\alpha)$ menor que 0,1 a relação é bem representada por uma relação linear. Sua extensão para valores de $(1-\alpha)$ até 0.2 necessita de um ajuste quadrático como mostrado na Equação (46).

$$C^* \approx -8,1(1-\alpha) + 3,8(1-\alpha)^2 \quad (46)$$

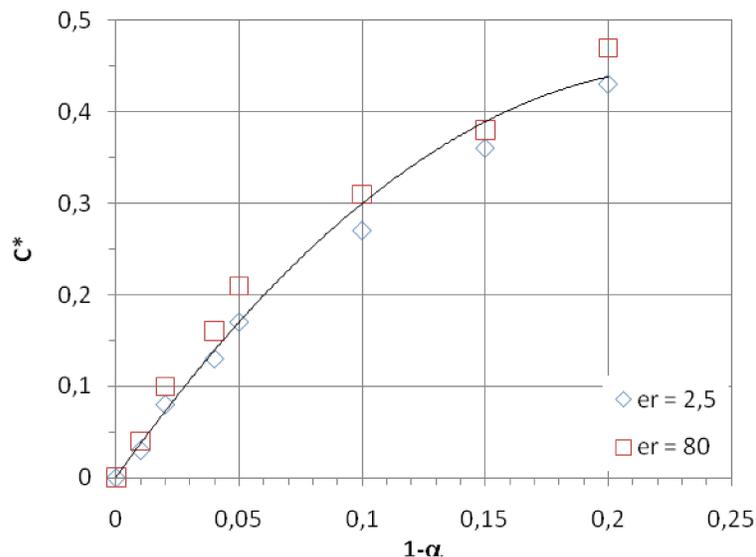


Figura 19 – Curva de sensibilidade para dielétricos $\{\varepsilon_r = 1,0 ; \varepsilon_r = 2,5\}$ e $\{\varepsilon_r = 1,0 ; \varepsilon_r = 80\}$ em função da fração de líquido $(1-\alpha)$.

Pode-se estimar a capacitância para um arranjo anular empregando o modelo para C dado na equação (44) e a definição de C*, equação (36):

$$C = \varepsilon_0 K_{\text{ideal}} D \left[(\varepsilon_r - \varepsilon_{r,\text{ar}}) C^* + (\varepsilon_{r,\text{ar}} + 10) \right] \quad (47)$$

Sendo que a capacitância relativa, C*, é determinada por meio da equação (46).

4.3.4 Extensão do modelo para gás-líquido: padrão bolhas dispersas

O modelo proposto para o arranjo de bolhas dispersas num meio líquido baseia-se na equação (38). Para adaptá-lo ao meio disperso é calculada uma constante dielétrica equivalente de acordo com o modelo de Maxwell (apud Tin e Negrini, 1980) para meios isotrópicos, isto é, a fase dispersa está distribuída de forma homogênea em todas as direções. A equação (38) passa a ser reescrita como:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_\alpha DK, \quad (48)$$

onde o dielétrico equivalente, ε_α , é determinado pelo modelo de Maxwell:

$$\frac{\varepsilon_\alpha - \varepsilon_c}{\varepsilon_\alpha + 2\varepsilon_c} = \alpha \frac{\varepsilon_d - \varepsilon_c}{\varepsilon_d + 2\varepsilon_c}, \quad (49)$$

sendo que ε_c e ε_d representam, respectivamente, os dielétricos da fase contínua e da fase dispersa e α a fração volumétrica da fase dispersa ou fração de vazio.

Podemos rearranjar a Equação (49) para expressar a constante dielétrica equivalente em função da fração de vazio e das constantes dielétricas dos meios contínuos e dispersos:

$$\varepsilon_\alpha = \varepsilon_d \frac{1 + 2\alpha \left(\frac{\varepsilon_d - \varepsilon_c}{\varepsilon_d + 2\varepsilon_c} \right)}{1 - \alpha \left(\frac{\varepsilon_d - \varepsilon_c}{\varepsilon_d + 2\varepsilon_c} \right)}. \quad (50)$$

A relação de ε_α dada na Equação(50) é ainda complexa para uma expressão analítica. Entretanto, reconhecendo que a análise para o padrão disperso foca frações de vazio entre $0 < \alpha < 0.2$, pode-se obter da Equação (50) uma forma aproximada fazendo uma expansão de primeira ordem em série de Taylor ao redor de $\alpha=0$:

$$\varepsilon_\alpha \cong \varepsilon_d \left[1 + 3\alpha \left(\frac{\varepsilon_d - \varepsilon_c}{\varepsilon_d + 2\varepsilon_c} \right) \right] \quad (51)$$

Substituindo na Equação (38) a definição da constante de proporcionalidade K definida na Equação (43) e a aproximação do dielétrico equivalente para $0 < \alpha < 0.2$ da Equação (51) chega-se ao modelo algébrico para a capacitância em um meio disperso:

$$C \cong \varepsilon_0 \left\{ \varepsilon_d \left[1 + 3\alpha \left(\frac{\varepsilon_d - \varepsilon_c}{\varepsilon_d + 2\varepsilon_c} \right) \right] + 1 \right\} K_{ideal} D \quad (52)$$

O modelo algébrico é comparado contra uma simulação computacional. Para o modelo computacional desenvolvido, o domínio de calculo é o volume de medida do sensor. O modelo computacional apresenta a distribuição aleatória de bolhas, representadas pelo dielétrico ε_d no domínio de cálculo seja no sentido radial como também no sentido longitudinal dentro de um tubo e respeitando a relação de volumes entre o volume do meio disperso V_d e o volume total V_{total} :

$$\alpha_{vol} = \frac{V_d}{V_{total}} \quad (53)$$

A fração de vazio no interior do domínio de cálculo é inserida alterando-se as propriedades (condutividade ou dielétrico) dos volumes finitos em coordenadas cilíndricas. As bolhas são representadas por ‘casca’ cilíndricas de mesmo volume, apesar do efeito de divergência de área com o aumento do raio. Neste procedimento foi possível gerar diferentes frações de vazio no domínio computacional.

O modelo algébrico é comparado contra a simulação numérica utilizando o complementar da capacitância relativa, C^* , versus a fração de vazio da fase dispersa. Substituindo a Equação

(52) na definição de C^* , Equação(36), encontra-se que o complementar da capacitância relativa é dado por:

$$1 - C^* = \frac{C - C_{\text{d}}}{C_c - C_{\text{d}}} = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_d}{\varepsilon_c + 2\varepsilon_d} \quad (54)$$

Para a relação da Equação (54) verificamos que o resultado de $(1-C^*)/\alpha$ pode ser interpretado como a inclinação da reta e o mesmo é compreendido por dois limites que estão limitados por:

$$1 \leq \frac{3\varepsilon_c}{\varepsilon_d + 2\varepsilon_c} \leq 1,5 \quad (55)$$

Uma comparação entre modelo algébrico, Equação (48) com a definição dada na Equação (50), modelo aproximado, Equação (52) e a simulação computacional, é realizada em função de α para $\varepsilon_d = 1$ e $\varepsilon_c = 2,5$. A Figura 20 relaciona fração de vazão volumétrica com $1 - C^*$. Nesse gráfico são apresentados os valores calculados analiticamente e os calculados computacionalmente. Para o valor algébrico de Maxwell temos a inclinação da reta (coeficiente angular) $\acute{\alpha}_{\text{ana}} = 1,27$, para o valor algébrico aproximado temos a inclinação da reta $\acute{\alpha}_{\text{aprox}} = 1,25$ e para o modelo computacional temos a inclinação da reta para os 3 pontos de $\acute{\alpha}_{\text{sim}} = 1,60$.

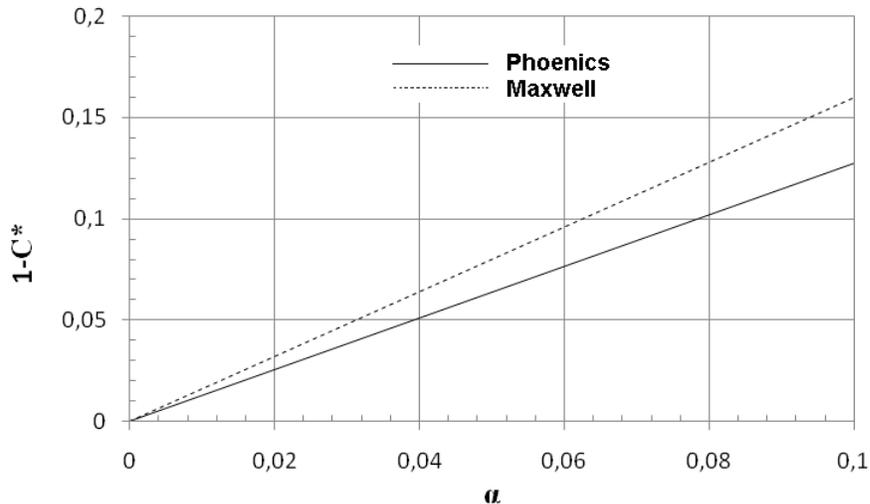


Figura 20 – Curva utilizando correlação de Maxwell e dados obtidos através da simulação usando software Phoenics para dielétrico $\epsilon_r=2,5$ onde a linha contínua é Maxwell e a linha tracejada é a simulação usando Phoenics.

Para o caso onde $\epsilon_d=1$ e $\epsilon_c=80$, temos a Figura 21 que relaciona fração de vazio volumétrica α com $1-C^*$. Para o valor algébrico de Maxwell temos a inclinação da reta (coeficiente angular) $\alpha_{ana}=1,43$, para o valor algébrico aproximado temos a inclinação da reta $\alpha_{aprox}=1,49$ e para o modelo computacional temos a inclinação da reta para os 3 pontos de $\alpha_{sim}=2,48$.

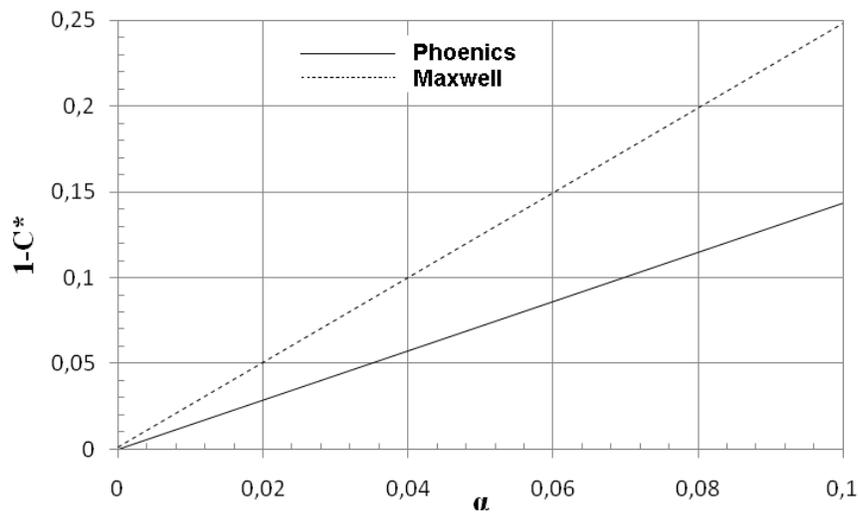


Figura 21 – Curva utilizando correlação de Maxwell e dados obtidos através da simulação usando software Phoenics para dielétrico $\epsilon_r=80$ onde a linha contínua é Maxwell e a linha tracejada é a simulação usando Phoenics.

Percebemos que existe uma diferença entre o modelo algébrico proposto e o modelo computacionalmente calculado para o padrão de bolhas dispersas. As diferenças são em parte atribuídas pela aleatoriedade do posicionamento das bolhas no tubo, efeitos de borda do sensor não capturados pelo modelo de Maxwell e a inadequação do modelo de Maxwell para modelar o dielétrico dentro do volume de medida que introduz incertezas no modelo que se propagam para a determinação de C^* .

4.4 Modelo algébrico para resistência elétrica do sensor anéis

Quando o volume de medida está preenchido por um fluido condutivo a resistência elétrica equivalente é determinada por:

$$R = \frac{d}{\sigma A} \frac{1}{G}, \quad (56)$$

onde d , A e σ são, respectivamente, a distância entre os eletrodos, a área onde cruza o fluxo de corrente e a condutividade elétrica do meio. O termo G representa um fator de forma, análogo ao introduzido anteriormente. Reconhecendo que a dimensão principal do sensor é o diâmetro do tubo, D , propõe-se expressar o produto $(A/d)G$ por meio do produto $D.K$ onde K passa a ser uma constante de proporcionalidade entre sensores geometricamente similares.

$$R = \frac{1}{\sigma D K}. \quad (57)$$

Uma interpretação da constante K em um meio condutivo é obtida por analogia à abordagem para o meio dielétrico. Como a aplicação é para um meio condutivo, considera-se que a condutividade elétrica do isolante do sensor é muito baixa. Neste cenário toda corrente migra do eletrodo para o terra sem cruzar o material isolante. Assim sendo considera-se que não há parasitas ou fugas de corrente de forma que a constante de proporcionalidade é igual àquela ideal:

$$R = \frac{1}{\sigma D K_{ideal}}. \quad (58)$$

Para a determinação do K_{ideal} utiliza-se a Equação(59) e os seguintes valores numéricos, $D=0,026\text{m}$, $\sigma=3,46 (\Omega.\text{m})^{-1}$ e $R=2,27 \Omega$, temos:

$$K_{ideal} = \frac{1}{\sigma R D}, \quad (59)$$

$$K_{ideal} \cong 4,9. \quad (60)$$

Se observarmos a Equação(39) verifica-se que existe uma abordagem análoga a feita pela Equação(59). Como trabalhamos com o mesmo sensor mas, com modelos elétricos diferentes, as únicas diferenças matemáticas se referem a constante utilizada. Para estudos resistivos consideramos a condutividade e para estudos capacitivos consideramos o dielétrico. Assim, como esperado, a constante de proporcionalidade encontrada apresenta exatamente o mesmo valor do fator de forma encontrado para o estudo capacitivo quando é considerada a análise ideal, isto é, sem capacitância parasita.

4.4.1 Efeito da variação do diâmetro no modelo algébrico

O modelo algébrico proposto na Equação (58) prevê uma variação linear do valor da resistência com o recíproco do diâmetro. A dependência do modelo com o diâmetro é testada contra valores de resistência obtidos por simulação numérica para tubos com diferentes diâmetros e em meios condutivos distintos. A Tabela 11 mostra por conveniência os valores de resistência obtidos através das simulações computacionais e também através da utilização da Equação (58) onde comparamos o modelo algébrico de resistência em ohms para tubulações com diâmetros variando entre 0,026 m a 0,208 m em condutividades com constantes entre $\sigma=9,85.10^{-5}(\Omega.m)^{-1}$ e $\sigma=3,46 (\Omega.m)^{-1}$.

Tabela 11 – Valor de Resistência para condutividades e diâmetros diferentes.

Diâmetro. (m)	Modelo R Equação (58) (Ω)			R Simulação Phoenics (Ω)		
	Condutividade $\sigma (\Omega.m)^{-1}$			Condutividade $\sigma (\Omega.m)^{-1}$		
	3,46	0,023	$9,85.10^{-5}$	3,46	0,023	$9,85.10^{-5}$
0,026	2,27	341,27	79688,26	2,27	343,17	80056,60
0,052	1,13	170,64	39844,13	1,14	166,67	39883,54
0,104	0,57	85,32	19922,06	0,57	83,13	19390,37
0,208	0,28	42,66	9961,03	0,29	42,83	9990,01

Para efeito de comparação entre as resistências prevista pelo modelo, Equação (58), e aquelas simuladas computacionalmente se avaliam os erros através da Equação (61):

$$\text{Erro} = \left| \frac{R_{\text{analítico}} - R_{\text{simulado}}}{R_{\text{simulado}}} \right|. \quad (61)$$

Uma inspeção nos resultados da Tabela 12 mostra que o erro é menor ou igual a 3%, valor considerável aceitável para um modelo algébrico cuja finalidade é estimar o valor da resistência.

Tabela 12 – Erro entre a resistência analítica e a resistência computacionalmente simulada.

Diâmetro (m)	Erro (%)		
	$\sigma=3,46$ $(\Omega.m)^{-1}$	$\sigma=0,023$ $(\Omega.m)^{-1}$	$\sigma=9,85.10^{-5}$ $(\Omega.m)^{-1}$
0,026	0%	1%	0%
0,052	1%	2%	0%
0,104	0%	3%	3%
0,208	3%	0%	0%

4.4.2 Extensão do modelo para gás-líquido: padrão anular

Para um escoamento vertical ascendente de gás e líquido onde a vazão de gás é elevada as fases ficam distribuídas num arranjo anular. A análise desenvolvida engloba as frações de vazio entre 80% até o preenchimento total do volume de medida pelo gás. Para o modelo de resistência proposto assumimos que a condutividade do gás é nula, $\sigma_{\text{gas}}=0$.

O estudo dos resultados da simulação computacional é feito adotando R^* que trata de um adimensional análogo ao C^* , definido na Equação (36). O inverso de Resistência R é a condutância que é definida por G . Criando uma formulação adimensional para G^* apresentada pela Equação (62):

$$G^* = \frac{G - G_{\text{ar}}}{G_{\text{cheio}} - G_{\text{ar}}}. \quad (62)$$

Como a condutância no ar é nula pelo modelo assumido, temos que:

$$G^* = \frac{G}{G_{\text{cheio}}} \quad (63)$$

Sabemos que o inverso da condutância é a resistência, assim temos:

$$R^* = \frac{R_{\text{cheio}}}{R} \quad (64)$$

O cálculo de R^* é feito para simulações computacionais feitas para camadas líquidas que possuem condutividades com constantes entre $\sigma=9,85 \cdot 10^{-5} (\Omega \cdot m)^{-1}$ e $\sigma=3,46 (\Omega \cdot m)^{-1}$. A Figura 22 mostra uma dependência linear dos valores de R^* em função de $(1-\alpha)$ mas não revela uma dependência com a condutividade do fluido.

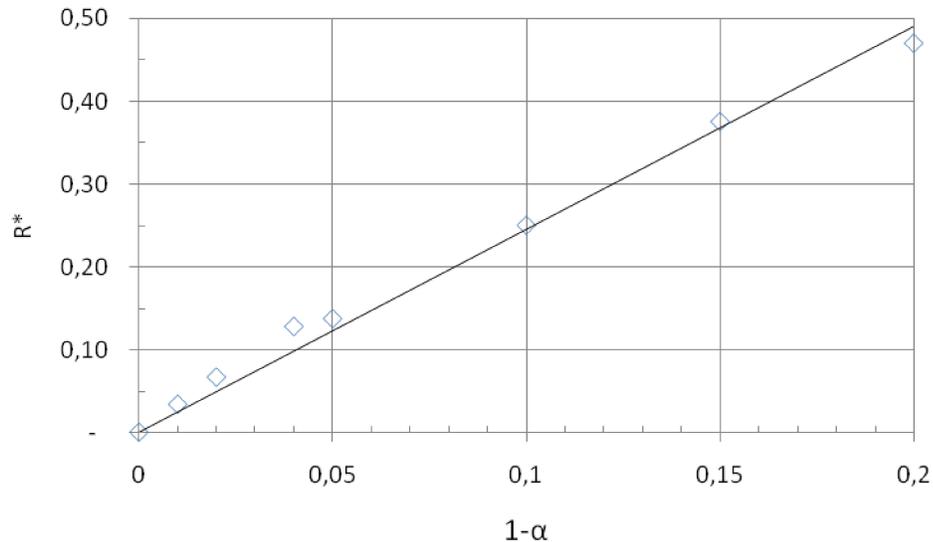


Figura 22 – Variação da resistência relativa em função da fração de líquido ($1-\alpha$) para o padrão anular. Na figura os símbolos representam dados de fluidos com diferentes condutividades.

A relação de R^* com $(1-\alpha)$ pode ser representada pela Equação(65).

$$R^* \approx 2,45 (1-\alpha) \quad (65)$$

Podemos também combinar a Equação (65) com a Equação (58), para chegar na Equação(66) que permite obter o valor de resistência com base na condutividade do líquido:

$$R = \frac{1}{2,45 \sigma K D (1-\alpha)} \quad (66)$$

4.4.3 Extensão do modelo para gás-líquido: padrão bolhas dispersas

Para adaptar o modelo ao meio disperso sua condutividade equivalente é calculada de acordo com o modelo de Maxwell (apud Tin e Negrini, 1980) para meios isotrópicos, isto é, a fase dispersa está distribuída de forma homogênea em todas as direções. A Equação (58) é reescrita como:

$$R = \frac{1}{\sigma_\alpha D K_{ideal}} \quad (67)$$

onde a condutividade equivalente, σ_α , é determinada pelo modelo de Maxwell:

$$\frac{\sigma_\alpha - \sigma_c}{\sigma_\alpha + 2\sigma_c} = \alpha \frac{\sigma_d - \sigma_c}{\sigma_d + 2\sigma_c} \quad (68)$$

onde σ_c e σ_d representam, respectivamente, as condutividades da fase contínua e da fase dispersa e α a fração volumétrica da fase dispersa ou frações de vazios. Podemos rearranjar a Equação(68) de forma que:

$$\sigma_\alpha = \frac{1-\alpha}{1+0,5\alpha} \sigma_c \quad (69)$$

Substituindo na Equação (58) a definição da constante de proporcionalidade K definida na Equação(60) e a aproximação da condutividade equivalente através da Equação (69) chega-se ao modelo de resistência para o padrão disperso:

$$R = \frac{1}{4,9 \left(\frac{1-\alpha}{1+0,5\alpha} \sigma_c \right) D} \quad (70)$$

A partir da Equação(69) e da definição de R^* , pode-se calcular R^* pela Equação(71):

$$R^* = \frac{R_{\text{cheio}}}{R} = 1 - \frac{1+0,5\alpha}{1-\alpha} \quad (71)$$

Expandindo a Equação (71) em série de Taylor com α em torno de 0, temos:

$$R^* = 1,5\alpha \quad (72)$$

A forma aproximada da equação (71) revela que a taxa de variação de R^* varia linearmente com α e sua constante de proporcionalidade é 1,5.

Para a comparação do modelo algébrico é feita com uma simulação computacional. O domínio de cálculo do modelo computacional é o volume de medida do sensor. O modelo computacional possui uma distribuição aleatória de bolhas, representadas pela condutividade $\sigma_d=0$ no domínio computacional seja no sentido radial como também no sentido longitudinal respeitando a relação de volumes entre o volume do meio disperso V_d e o volume total V_{total} :

$$\alpha_{\text{vol}} = \frac{V_d}{V_{\text{total}}} \quad (73)$$

Assim, através do modelo algébrico construído e dos cálculos feitos na simulação computacional, construímos a Tabela 13. A primeira coluna traz a fração de vazio. As colunas de 2 a 4 trazem os valores de resistência em Ω previstos utilizando o modelo de Maxwell para líquidos com condutividade elétrica de $3,46 (\Omega.m)^{-1}$; $2,3.10^{-2} (\Omega.m)^{-1}$ e $9,85.10^{-5} (\Omega.m)^{-1}$. As colunas de 5 a 7 trazem os valores de resistência em Ω utilizando o Phoenics para três frações volumétricas de gás: 0, 5% e 10%.

Tabela 13 – Valores de Resistência obtidos pela correlação de Maxwell e pela simulação de Phoenics para diversas frações de vazio e variados dielétricos.

Fração de Vazio α	Resistência (Ω)					
	Maxwell			Simulação Phoenics		
	σ ($\Omega.m$) ⁻¹					
	3,46	0,023	9,85.10-5	3,46	0,023	9,85.10-5
0	2,3	342,0	79810,7	2,3	343,2	80056,6
0,01	2,3	347,2	81019,2	-	-	-
0,02	2,3	352,4	82253,9	-	-	-
0,03	2,4	357,8	83513,8	-	-	-
0,04	2,4	363,3	84798,9	-	-	-
0,05	2,5	369,0	86111,5	2,6	384,6	90090,1
0,06	2,5	374,7	87452,2	-	-	-
0,07	2,5	380,6	88821,6	-	-	-
0,08	2,6	386,6	90220,9	-	-	-
0,09	2,6	392,7	91650,8	-	-	-
0,1	2,7	399,0	93112,5	3,0	454,6	107526,9

As estimativas de resistência dadas na Tabela 13 estão apresentadas na Figura 23 na forma adimensional. A abscissa da figura traz a fração de vazio. Na ordenada os valores de resistência estão expressos na forma adimensional em função da resistência relativa R^* . Nesta forma adimensional todos os valores da equação (71) recaem sobre uma mesma reta, mostrando-se independentes da condutividade do meio. De forma adicional também é mostrado na figura os valores de R^* na forma de um ‘quadrado vazio’ para os três valores de α .

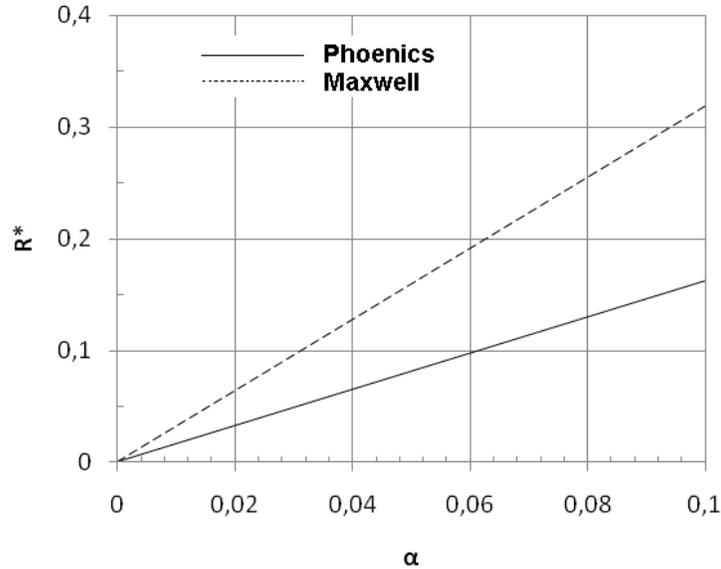


Figura 23 – R^* em função da fração de vazio para o padrão bolhas dispersas.

O modelo da equação (72) apresenta um coeficiente angular de 1,5, no entanto, as simulações computacionais apresentam um coeficiente angular de 3,1. Existem diferenças entre o modelo e a previsão do Phoenixics, em termos absolutos constata-se na Tabela 13 que o maior desvio não ultrapassa 13% por outro lado a apresentação dos resultados nesta forma adimensional faz com que o erro entre modelo e simulação seja muito maior. Resultado similar também foi obtido para fluido dielétrico, veja Figura 21. Na mesma seção são discutidas as possíveis causas destas diferenças que são igualmente estendidas para o caso de um fluido condutivo.

4.5 Modelo algébrico generalizado para impedância elétrica de um fluido homogêneo

O sensor detecta a presença das fases por meio da medida da variação da impedância elétrica que ocorre dentro do volume de medida devido a passagem das fases. O conhecimento prévio da impedância elétrica no volume de medida, a partir das propriedades elétricas dos fluidos, é fundamental para ajustar a faixa de operação do sensor e detectar eventuais limitações na medição seja no seu limite inferior e superior de impedância. O objetivo desta seção é realizar a estimativa da impedância a partir dos modelos de capacitância para meios dielétricos e condutância para meios condutores.

Pode-se representar a impedância elétrica de um meio contínuo e homogêneo como sendo a associação em paralelo de uma carga resistiva e uma carga capacitiva, veja representação na Figura 24.

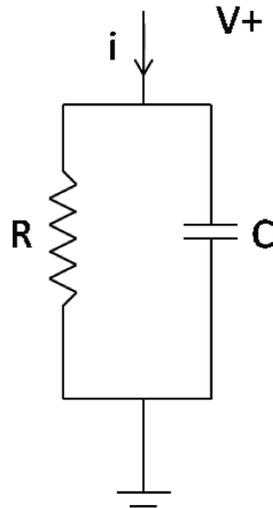


Figura 24 – Representação elétrica de um fluido com propriedades de meio condutivo e dielétrico.

A impedância elétrica complexa entre uma carga resistiva e outra capacitiva associadas em paralelo é dada por:

$$Z = \frac{R}{1 + \omega^2 C^2 R^2} + \frac{R^2 C \omega}{1 + \omega^2 C^2 R^2} j \quad (74)$$

onde ω é a frequência angular (rad/s). Por meio da equação (74) também pode-se expressar o módulo da impedância e sua fase como:

$$|Z| = \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} \quad \text{e} \quad \theta = \text{ArcTg}(\omega CR) \quad (75)$$

4.5.1 Impedância elétrica para um fluido com propriedade condutiva e dielétrica

Um fluido com propriedades condutiva e dielétrica é aquele que permite a passagem de corrente e polarização de carga simultaneamente. Neste tipo de fluido os dois processos elétricos são importantes, isto é, um não pode ser desconsiderado em favor do outro. Nesta classe de

fluidos encontra-se a água deionizada e também as emulsões óleo em água e água em óleo (Becher, 1983).

A impedância elétrica complexa é determinada substituindo na equação (29) as definições de R e C dadas pelas equações (58), (38), (42) e (43):

$$Z = \frac{\frac{1}{4,9\sigma D}}{1 + \omega^2 \left(4,9\epsilon_0\epsilon_r \left(1 + \frac{10}{\epsilon_r} \right) D \right)^2 \left(\frac{1}{4,9\sigma D} \right)^2} + \frac{\left(\frac{1}{4,9\sigma D} \right)^2 \left(4,9\epsilon_0\epsilon_r \left(1 + \frac{10}{\epsilon_r} \right) D \right) \omega}{1 + \omega^2 \left(4,9\epsilon_0\epsilon_r \left(1 + \frac{10}{\epsilon_r} \right) D \right)^2 \left(\frac{1}{4,9\sigma D} \right)^2} j \quad (76)$$

A equação (76) pode ser simplificada algebricamente para:

$$Z = \frac{1}{4,9\sigma D} \left\{ \frac{1}{1 + \left(\frac{\epsilon_0\omega}{\sigma} \right)^2 (\epsilon_r + 10)^2} + \frac{\left(\frac{\epsilon_0\omega}{\sigma} \right) (\epsilon_r + 10)}{1 + \left(\frac{\epsilon_0\omega}{\sigma} \right)^2 (\epsilon_r + 10)^2} j \right\} \quad (77)$$

e expressa de forma compacta em termos do módulo e da fase dados por:

$$|Z| = \frac{1}{4,9\sigma D \sqrt{1 + Tg^2(\theta)}} \equiv \frac{R}{\sqrt{1 + Tg^2(\theta)}} \quad \text{onde} \quad \left(\left(\frac{\epsilon_0\omega}{\sigma} \right) (\epsilon_r + 10) \right) \quad (78)$$

A equação (78) expressa o módulo da impedância em função do inverso da condutividade, do diâmetro e da tangente da fase. Isto é, quanto menor for a condutividade ou o diâmetro maior será a impedância.

O ângulo da fase é diretamente proporcional a frequência angular e ao dielétrico e inversamente proporcional a condutividade. Assim o aumento da frequência angular ou a diminuição da condutividade conduzem a um aumento do ângulo da fase. Por sua vez, o ângulo da fase pode variar entre 0 a $\pi/2$ radianos. Estes limites correspondem a fluidos puramente resistivos e puramente capacitivos. A equação (78) aplica-se em todo o intervalo do ângulo da fase, $0 \leq \theta \leq \pi/2$, entretanto é conveniente investigar os valores que a equação (78) assume nos limites.

No limite inferior onde $\theta \rightarrow 0$ a equação (78) reduz para:

$$|Z| = \frac{1}{4,9\sigma D} \equiv R \quad \text{onde} \quad (79)$$

A equação (79) estima o módulo da impedância para um fluido condutivo que possui como característica uma impedância $(\omega C) \rightarrow 0$ e fase zero entre corrente e tensão. Esta classe de fluidos é representada pela água e água salgada, freqüentemente encontrada em poços produtores.

Complementariamente, no limite superior, onde $\theta \rightarrow \pi/2$, $Tg\theta \gg 1$ e a equação (78) reduz para:

$$|Z| = \frac{1}{4,9\sigma D \text{tg}(\theta)} \equiv \frac{1}{10,4,9\epsilon_0 \omega (\epsilon_r +) D} \equiv \frac{1\pi}{2} \quad \text{onde} \quad (80)$$

A equação (80) estima o módulo da impedância para um fluido dielétrico que tem como característica uma resistência muito alta e a fase entre tensão e corrente de -90° . Esta classe de fluidos é representada pelos óleos em geral.

4.6 Sumário dos modelos algébricos para misturas de gás e líquido

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sensor de impedância elétrica para operar em um escoamento bifásico de gás e líquido vertical ascendente. Nestas condições podem ocorrer os padrões anular e disperso. No padrão anular pode-se ter um filme de líquido junto enquanto que o núcleo consiste de um escoamento de gás, portanto o fluido do núcleo será dielétrico. Para o padrão disperso pode-se ter como meio contínuo um líquido enquanto que a fase dispersa necessariamente será um gás, portanto um fluido dielétrico. Note que para ambos os padrões a propriedade elétrica da fase líquida ainda necessita ser definida uma vez que o líquido pode ser dielétrico, condutivo ou ambos. Dependendo se a natureza da fase líquida for dielétrica, condutiva ou ambas pode gerar três possíveis combinações para cada padrão como ilustrado na

Tabela 14. Por exemplo, para o padrão anular com líquido condutivo e gás vai demandar um modelo puramente condutivo uma vez que a contribuição capacitiva (ωC) tende a zero. Por outro lado, para o mesmo padrão anular onde líquido e gás tem propriedade dielétrica o modelo será puramente dielétrico. Por último quando a fase líquida tiver característica dielétrica e condutiva irá demandar um modelo com características dielétrica e condutivas. Por conveniência cada modelo é identificado na última coluna da tabela.

Tabela 14 – Tubo preenchido com dois fluidos, relação entre fluidos, fase aproximadamente esperada, padrão de escoamento e modelo adotado.

Padrão	Líquido	Gás	Fase (graus)	Princípio	Modelo Identificação
Anular	Condutivo	Dielétrico	0°	Condutivo	A-0
	Dielétrico	Dielétrico	-90°	Dielétrico	A-90
	Condutivo & Dielétrico	Dielétrico	$90^\circ < \theta < 0^\circ$	ambos	A- θ
Bolhas	Condutivo	Dielétrico	0°	Condutivo	B-0
	Dielétrico	Dielétrico	-90°	Dielétrico	B-90
	Condutivo & Dielétrico	Dielétrico	$90^\circ < \theta < 0^\circ$	ambos	B- θ

Os modelos para o módulo da impedância nos padrões anular ou disperso para líquidos com propriedades de dielétrico, de condutividade ou ambas não mostradas na Tabela 15. A segunda coluna identifica o modelo de acordo com a nomenclatura definida na Tabela 14. A terceira e quarta colunas apresentam expressões para o cálculo de $|Z|$ e sua numeração associada na ordem que elas surgiram no texto. A quarta coluna apresenta o modelo para $|Z|$ em função das propriedades elétricas dos meios e da concentração volumétrica. A última coluna rotula seis notas de (a) a (f) que estão associadas a cada modelo de $|Z|$ e indicam as equações que foram utilizadas para se chegar a forma final apresentada.

Tabela 15 – Modelos para o módulo da impedância nos padrões anular e disperso para escoamento bifásico de gás e líquido sendo que o líquido pode apresentar propriedades dielétrica, condutiva ou ambas (ϵ_L , ϵ_G representam o dielétrico das fases líquida e gasosa, σ_L a condutividade da fase líquida).

Padrão	Identif. Modelo	$ Z $	Eq.	$ Z $	Notas
	A-0	R	(79)	$\frac{1}{R\sigma(DK_{ideal})}$	(a)
Anular	A-90	$\frac{1}{\omega C}$	(80)	$\frac{[(\epsilon_L - \epsilon_G)C^* + (\epsilon_G + 10)]^{-1}}{\omega\epsilon_0 K_{ideal} D}$	(b)
	A- θ	$\frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}}$	(78)	(c)	(---)
	B-0	R	(79)	$\frac{1}{R^*(\sigma_L DK_{ideal})}$	(d)
Bolhas	B-90	$\frac{1}{\omega C}$	(80)	$\frac{\left\{ \epsilon_G \left[1 + 3\alpha \left(\frac{\epsilon_G - \epsilon_L}{\epsilon_G + 2\epsilon_L} \right) \right] + 10 \right\}^{-1}}{\omega\epsilon_0 K_{ideal} D}$	(e)
	B- θ	$\frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}}$	(78)	(f)	(---)

Nota (a) o modelo para A-0 foi obtido substituindo na equação (64) a equação (58). O valor de R^* deve ser obtido da equação (65).

Nota (b) o modelo para A-90 foi obtido substituindo a equação (47) na equação (80). O valor de C^* deve ser obtido da equação (46).

Nota (c) a forma da expressão algébrica para $|Z|$ é complexa. Substituir os valores numéricos de C e R dados pelas equações (47) e (66) na equação (78).

Nota (d) o modelo para B-0 foi obtido substituindo na equação (64) a equação (58). O valor de R^* deve ser obtido da equação (72).

Nota (e) o modelo para B-90 foi obtido substituindo a equação (52) na equação (80).

Nota (f) a forma da expressão algébrica para $|Z|$ é complexa. Substituir os valores numéricos de C e R dados pelas equações (52) e (70) na equação (78).

Na ocorrência simultânea de fase gás e líquida no volume de medida é conveniente trabalhar com os valores relativos de R e C definidos em função dos valores que R e C assumem quando no volume de medida está preenchido somente uma das fases como sugere a Equação (81):

$$R^* = \frac{R_{\text{cheio}}}{R} \quad \text{e} \quad C^* = \frac{C - C_{\text{vazio}}}{C_{\text{cheio}} - C_{\text{vazio}}}. \quad (81)$$

Os sub-índices ‘vazio’ e ‘cheio’ significam, respectivamente, que o volume de medida está preenchido com a fase gás ou fase líquida. Para fase líquida predominantemente condutiva R^* é expresso somente pelo valor do tubo cheio porque para vazio sua resistência tende ao infinito. Em particular para líquidos com características dielétricas o efeito de capacitâncias parasitas em C^* é eliminado devido à subtração que ocorre no numerador e denominador. Outro aspecto importante de expressar R e C em termos relativos é que a influência das propriedades elétricas das fases, σ e ϵ , já está embutida nas expressões de tal modo que seus valores ficam limitados na faixa entre 0 e 1, isto é, $0 \leq R^*, C^* \leq 1$ para quaisquer valores de propriedades.

Espera-se, a priori, uma proporcionalidade entre R^* e C^* com a fração de vazio. Considerando o padrão de bolhas dispersas a fração de vazio tipicamente varia entre 0 a 0,2 com predominância de fase líquida de forma que o volume da mistura estará próximo do estado ‘cheio’ fazendo com que seja esperado valores para R^* e C^* próximos da unidade. Por outro lado, para o padrão anular a fração de vazio tipicamente varia entre 0,8 a 1 de tal forma que os valores de R^* e C^* esperados são próximos de zero. As simulações numéricas para os padrões bolhas dispersas e anular foram realizadas para sensores geometricamente similares. Os resultados foram reduzidos para as expressões algébricas mostradas na Tabela 16 em função de α juntamente com seus limites de validade.

Tabela 16 – Expressões algébricas para resistência e capacitância adimensionais, R^* e C^* , em função da fração de vazio e do padrão do escoamento (O modelo para C^* no padrão bolhas dispersas baseia-se na teoria de Maxwell. ϵ_{rL} e ϵ_{rG} representam o dielétrico relativo da fase líquida e gás, respectivamente).

Padrão	R^*	C^*
Anular ($0,8 \leq \alpha \leq 1$)	$2,45(1 - \alpha)$ (65)	$+3,8(1 - \alpha) - 8,1(1 - \alpha)^2$ (46)
Bolhas Dispersas ($0 \leq \alpha \leq 0,2$)	$1 - 1,5\alpha$ (71)	$1 - \alpha \left(\frac{3\epsilon_{rL}}{\epsilon_{rG} + 2\epsilon_{rL}} \right)$ (52)

4.7 Mapeamento da fração de vazio para os padrões anular e bolhas dispersas

A meta desta seção é desenvolver, a partir dos modelos algébricos, uma relação direta entre a voltagem de saída do circuito elétrico do sensor de impedâncias e a fração de vazio para misturas de gás e líquido escoando simultaneamente na tubulação. Esta relação entre a voltagem de saída e a fração de vazio é denominada por mapeamento da fração de vazio ou também por curva de calibração do medidor.

4.7.1 Relações entre C^* e R^* e a voltagem de saída V^*

O primeiro passo para estabelecer o mapeamento do sensor é reconhecer que as relações algébricas para R^* e C^* estão relacionadas diretamente com a fração de vazio, o objetivo deste trabalho. Entretanto resta ainda conhecer como R^* e C^* estão relacionados com o sinal de saída do instrumento. Pode-se antecipar que o estado ‘cheio’ e ‘vazio’ da mistura dentro do volume de medida está diretamente associado, respectivamente, a um valor ‘alto’ e ‘baixo’ da voltagem. Assim é proposta uma definição de voltagem relativa, V^* , de forma similar às definições dadas para R^* e C^* :

$$V^* = \frac{V_m - V_{\text{vazio}}}{V_{\text{cheio}} - V_{\text{vazio}}} \quad (82)$$

Pode-se redefinir os valores de V na Equação (82) em termos da impedância do processo Z , Equação (26). Considerando uma fase líquida com predominância condutiva, isto é, fase $\theta \rightarrow 0$, Z é dado pela sua componente resistiva e neste caso pode-se mostrar que R^* e V^* são idênticos, veja Equação (83):

$$V^* = \frac{R_c/R - R_c/R_{\text{vazio}}}{R_c/R_{\text{cheio}} - R_c/R_{\text{vazio}}} \equiv \frac{R_{\text{cheio}}}{R} \equiv R^* \quad (83)$$

De forma complementar, para uma fase líquida com predominância dielétrica, isto é, fase $\theta \rightarrow -90^\circ$, Z é dado pela sua componente capacitiva e neste caso pode-se mostrar que C^* e V^* são idênticos, veja Equação (84):

$$V^* = \frac{j\omega C R_c - j\omega C_{\text{vazio}} R_c}{j\omega C_{\text{cheio}} R_c - j\omega C_{\text{vazio}} R_c} \equiv \frac{C - C_{\text{vazio}}}{C_{\text{cheio}} - C_{\text{vazio}}} \equiv C^* \quad (84)$$

Devido às características do circuito elétrico desenvolvido contata-se que a voltagem relativa, V^* coincide com a resistência ou capacitância relativa, isto é, R^* e C^* . Isto aplica-se para líquidos com característica predominantemente condutiva ou dielétrica, respectivamente.

4.7.2 Mapeamento de V^* em fração de vazio

As Equações (83) e (84) juntamente com os modelos algébricos expostos na Tabela 16 possibilitam criar um mapeamento entre a saída do instrumento, V^* , em função da fração de vazio. Isto é, conhecendo-se V^* e o padrão pode-se determinar a fração de vazio. A Figura 25 mostra o mapeamento da fração de vazio em função de $(1-V^*)$ para líquidos condutivos e a Figura 26 para líquidos dielétricos. Apesar das diferenças nas propriedades elétricas, as curvas de α versus $(1-V^*)$ apresentam comportamento semelhantes. Os baixos valores de $(1-V^*)$ correspondem à ocorrência do padrão bolhas, $\alpha < 0,1$ e os altos valores de $(1-V^*)$ correspondem à ocorrência do padrão anular, $\alpha > 0,8$. Entre $0,1 < \alpha < 0,8$ não há modelo algébrico. Para completar a curva é proposto, de forma ad-hoc, uma interpolação linear entre estes extremos para

representar a faixa intermediária $0,1 < \alpha < 0,8$. A validade desta hipótese será verificada durante os testes dinâmicos no capítulo 6. Entretanto pode-se conjecturar que esta proposição não é de todo estranha reconhecendo-se que se o padrão de escoamento entre o bolhas disperso e o anular é o padrão intermitente em golfadas então é razoável pensar que uma curva de interpolante para esta região deva casar com os extremos dos padrões bolhas e anular. Além disto é sabido que o padrão intermitente, caracterizado por uma sequência de pistões de líquido aerados seguido por bolhas de gás alongadas, é considerado como se fosse uma combinação do padrão bolhas (representando o pistão aerado) com o padrão anular (representando a bolha alongada).

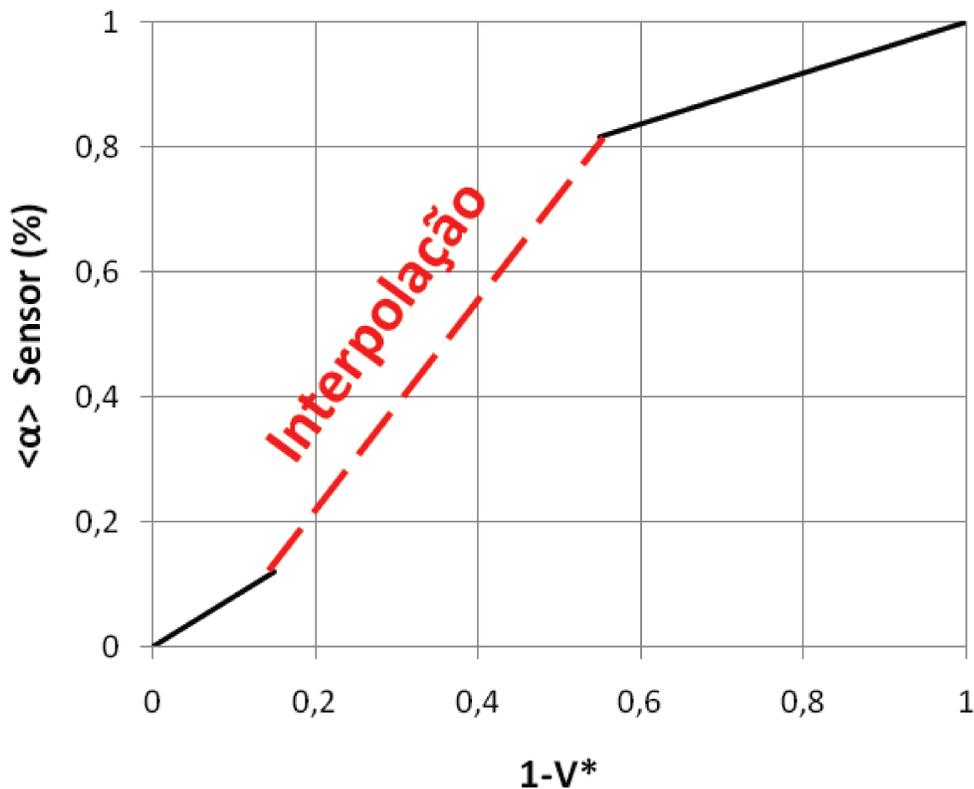


Figura 25 – Fração de vazio por (1-V*) para líquidos condutivos.

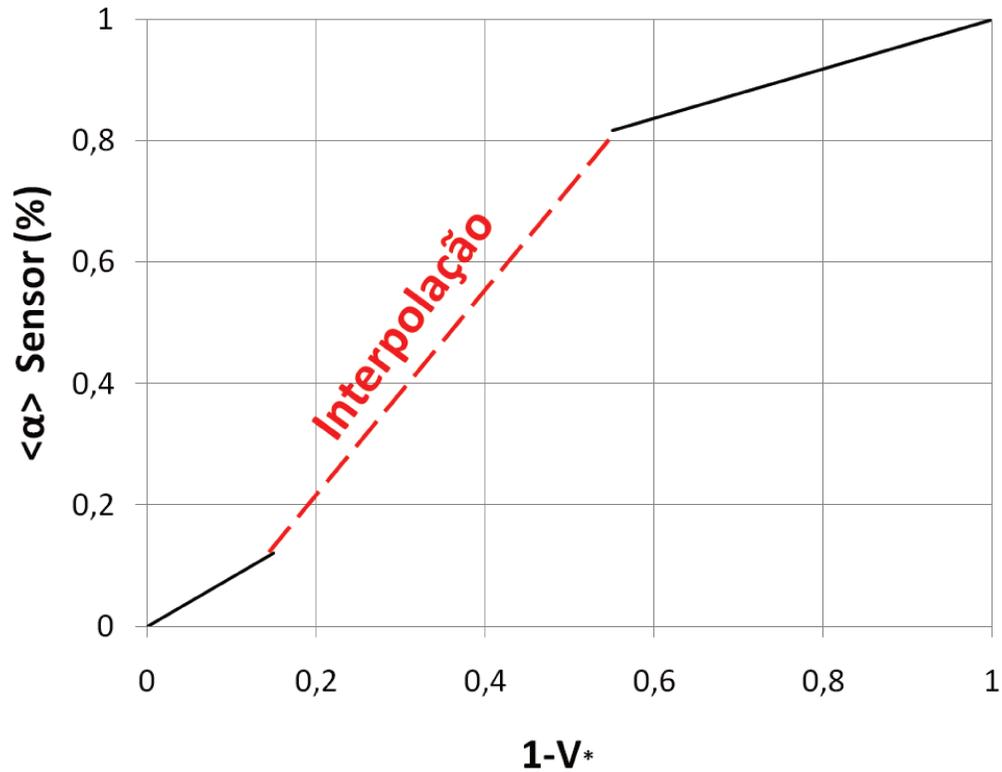


Figura 26 – Fração de vazio por $(1-V^*)$ para líquidos dielétricos.

As curvas interpolantes apresentadas podem também ser representadas através de uma tabela com as Equações que relacionam os valores de V^* com as frações de vazio α ; assim, construímos a Tabela 17. Essas relações serão utilizadas e discutidas especialmente no Capítulo 6 com o objetivo de avaliar dinamicamente o sensor aqui apresentado. Essas equações são aproximadas e servem para a calibração do sensor, e se baseiam essencialmente nas relações entre a Tabela 16, as Equações (83) e (84).

Tabela 17 – Relações algébricas entre V^* e α para construção da curva interpolante.

Padrão	α (condutivo)	α (dielétrico)
Anular ($0,8 \leq \alpha \leq 1$)	$\frac{2,45 - V^*}{2,45}$	$0,76 + 0,31\sqrt{0,45 - V^*}$
Curva Interpolante ($0 < \alpha < 0,8$)	$1,753 - 1,944 V^*$	$1,495 - 1,595 V^*$
Bolhas Dispersas ($0 \leq \alpha \leq 0,1$)	$0,66(1 - V^*)$	$\left(\frac{3\varepsilon_{rL}}{\varepsilon_{rG} + 2\varepsilon_{rL}}\right)(1 - V^*)$

O Apêndice C apresenta os códigos de programação e as respostas obtidas pelo software Phoenix para as simulações apresentadas nesse Capítulo 4. É apresentado o modelo de resolução para o tubo cheio, para o padrão de escoamento anular com 90% de fração de vazio e o padrão bolhas dispersas com 10% de fração de vazio.

5 TESTES ESTÁTICOS

Este capítulo descreve os testes estáticos, que são experimentos feitos em bancada, com fluidos estáticos e/ou insertos sólidos. O objetivo dos testes é a medida do valor de impedância do material que está estático no interior do tubo. O capítulo também apresenta os materiais utilizados, os procedimentos dos testes e os resultados. Por fim é realizada uma comparação entre os modelos algébricos de impedância (veja Capítulo 4) e os valores experimentais.

5.1 Testes estáticos

Os experimentos são feitos com um único material ou dois materiais dentro do volume de medida do sensor. Com um único material mensuramos a impedância resultante utilizando insertos de PVC ou de fluidos como ar, óleo, água deionizada, água torneira e água salgada. Com dois materiais é proposto o uso de insertos e fluidos. Esses insertos têm configuração geométrica de forma a se apresentarem como padrões de escoamento (anular e bolhas dispersas), e ficando assim possível complementar a análise com ar, água deionizada, água torneira e água salgada.

As medidas são feitas utilizando o equipamento BK Precision MODELO 889A que é capaz de fazer medidas com tensão variando de 25 mV – 1V e frequência variando de 1Hz – 200 kHz. O equipamento e seu funcionamento são descritos no Capítulo 3. A Figura 27 mostra o sensor na bancada para aferições na horizontal já conectado ao equipamento BK com as conexões de guarda, terra e sensoriamento feitas. Um suporte de PVC é utilizado para facilitar a conexão do sensor ao equipamento de medida e também para isolar o conjunto da bancada evitando qualquer interferência na medida em que é realizada. A conexão do equipamento de medida com a rede elétrica se faz através de uma tensão de 127 V monofásico e com o aterramento do mesmo.

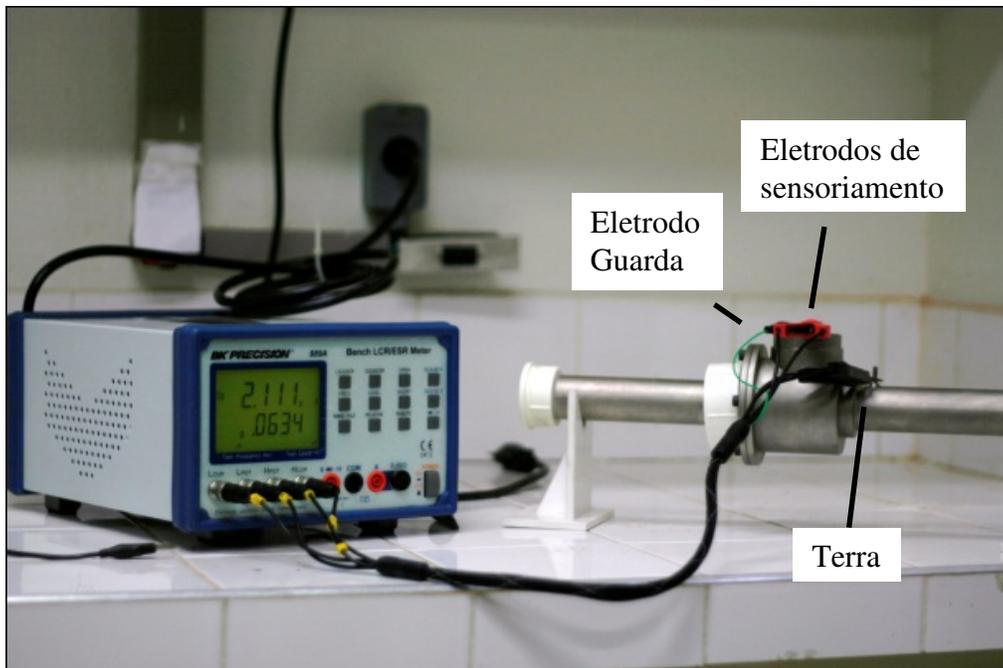


Figura 27 – Equipamento BK Precision MODELO 889A conectado ao sensor de impedâncias, conexão na rede elétrica e cavalete de plástico.

5.2 Materiais utilizados

Os testes utilizam fluidos de trabalho que poder ser utilizados em instalações laboratoriais ou campo. A Tabela 18 apresenta os fluidos e o material do inserto utilizado com seus respectivos valores de condutividade e dielétrico relativo. A característica predominante se refere ao comportamento elétrico predominante do material, dielétrico ou condutivo (veja Capítulo 4).

Os dados que compõem a tabela são obtidos de trabalhos feitos anteriormente pelo grupo 2PFG e apresentam valores aproximados para a água, especialmente no que se refere à condutividade (σ). Os valores da constante dielétrica relativa (ϵ_r) são aproximados dos valores apresentados em tabelas e utilizados nas simulações computacionais. É importante destacar que esses dados são aproximados e carregam uma incerteza, já que não foi possível medir para os experimentos feitos; no caso da água, dependem diretamente das condições de obtenção e das condições de sua produção e disponibilidade. A Introdução da dissertação (veja Capítulo 1) discute com maiores detalhes as características elétricas apresentadas pelos materiais da Tabela 18.

Tabela 18 – Conjunto de materiais e respectivas condutividades, dielétricos relativo e característica predominante.

	Materiais	σ ($\Omega.m$) ⁻¹	ϵ_r	Característica predominante
1	Ar	0	1	Dielétrica
2	Óleo SAE 20W50	0	2,5	Dielétrica
3	PVC	0	3,4	Dielétrica
4	Água Deionizada	$9,8 \cdot 10^{-5}$	80	Dielétrica
5	Água Torneira	$2,3 \cdot 10^{-2}$	80	Condutiva
6	Água Salgada	6,6	80	Condutiva

A Tabela 19 mostra as dimensões dos insertos cilíndricos construídos para a reproduzir de forma estática os padrões de escoamento anular e bolhas dispersas. Ela apresenta o padrão de escoamento, o material que constitui a mistura bifásica, os diâmetros internos e externos, a fração de vazio correspondente e a característica predominante. O material utilizado para construção é o PVC, cujas características dielétricas são próximas às características dielétricas do óleo. Para o padrão de bolhas, são intercaladas seqüência de “bolachas” maciças e “bolachas” perfuradas que em conjunto possuem uma fração volumétrica de 10%, veja Figura 28. O padrão anular é simulado de duas formas dependendo dos materiais. Utilizando-se apenas o PVC temos uma casca cilíndrica cujo espaço interno é preenchido por ar, veja Figura 28. Quando existe a presença de água a abordagem é diferente. Um tarugo de PVC é construído de forma a preencher o espaço interno e o espaço anular entre o tubo e o tarugo é posteriormente preenchido com água. As incertezas mecânicas apresentadas na Tabela 19 são devidas ao processo de fabricação dos insertos cilíndricos construídos. Assim, considerando uma incerteza de usinagem de $\pm 0,1$ mm para os diâmetros internos e externos, calculamos as respectivas incertezas das frações de vazio.

Tabela 19 – Insertos construídos, diâmetro interno do inserto de PVC, diâmetro externo do inserto de PVC e a fração de vazio correspondente.

	Padrão	Materiais	D_{interno} (mm)	D_{externo} (mm)	Fração de vazio α	Incerteza
1	Cheio	PVC	0	26,0	0%	$\pm 0,2\%$
2	Bolhas	PVC - AR	0	26,0	10%	$\pm 1,8\%$
3	Anular ¹	PVC - AR	24,6	26,0	80%	$\pm 1,8\%$
4	Anular ¹	PVC - AR	25,2	26,0	90%	$\pm 2,0\%$
5	Anular ²	Água - PVC	0	24,6	80%	$\pm 1,8\%$

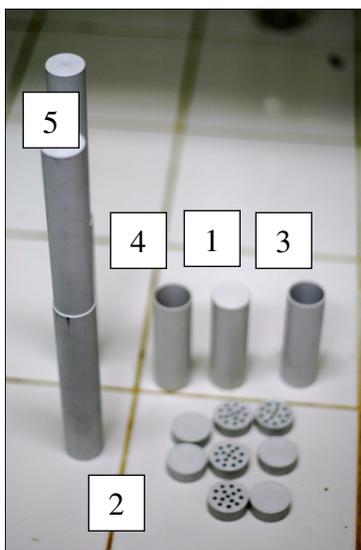


Figura 28: Insertos construídos para análise, 1 corresponde ao tubo cheio de PVC, 2 corresponde ao tubo com bolhas PVC - Ar, 3 corresponde ao anular PVC - Ar 80%, 4 corresponde ao anular PVC - Ar 90%, 5 corresponde ao anular Água - PVC 80%.

5.3 Procedimento dos testes estáticos

Os testes feitos com fluidos (óleo, água deionizada, água de torneira, água salgada) consistem em, após efetuar a limpeza do tubo, preencher a totalidade do tubo com fluido de teste e efetuar a respectiva medição.

Os testes com insertos são feitos de duas formas. Aqueles que constituem no arranjo PVC-AR são testados inserindo o inserto na posição dos eletrodos de sensoriamento e fazendo as medidas, no caso do arranjo de bolhas a disposição das fatias se dá intercalando as fatias completamente preenchidas com aquelas que possuem os furos. Os testes com insertos na configuração Água - PVC consistem no posicionamento do inserto e posterior preenchimento do tubo com água.

Os testes estáticos apresentaram uma capacitância parasita de 2 pF, valor não simulado computacionalmente. A capacitância parasita é devido a polarização de cargas elétricas. Ela ocorre principalmente nas hastes que conectam os eletrodos ao equipamento BK. Para fins de comparação dos valores estimados algebricamente os valores experimentais são corrigidos, subtraindo-se deles a capacitância parasita das hastes.

Os valores experimentais foram medidos aplicando uma tensão de 1V entre os eletrodos e o tubo, em uma frequência de 200 kHz. Para cada configuração foram feitas 10 medições com uma temperatura de 22°C. Existe uma flutuação dos valores medidos, assim o valor experimental é um valor médio e o valor do desvio padrão ficou inferior a 5% do valor médio.

5.4 Resultado experimental dos testes estáticos e comparação com modelo algébrico

Esta seção apresenta os resultados experimentais e uma comparação com os modelos algébricos. Por conveniência os resultados são apresentados em dois grupos: com um material e dois materiais, preenchendo esses o volume de medição do sensor.

5.4.1 Um material

A Tabela 20 apresenta os valores de módulo e fase da impedância experimental e aquela estimada pelo modelo algébrico (veja Tabela 15 no Capítulo 4) em função dos materiais. A última coluna mostra o desvio relativo entre a estimativa algébrica e a medida experimental definida pela Equação (85):

$$\text{Desvio} = \left| \frac{Z_{\text{exp}} - Z_{\text{alg}}}{Z_{\text{exp}}} \right| \quad (85)$$

Tabela 20 – Resultados dos testes estáticos feitos para um material

	Materiais	Experimental		Modelo Algébrico		Desvio Algébrico
		Z (Ω)	Θ (°)	Z (Ω)	Θ (°)	
1	Ar	61690	-89,6	64177	-90	4%
2	Óleo SAE 20W50	53770	-89,5	56440	-90	5%
3	PVC	51013	- ² 89,6	52702	-90	3%
4	Água Deionizada	7112	-80,3	7732	-84,4	11%
5	Água Torneira	336,0	-3,2	337,5	-2,5	1,3%
6	Água Salgada ²	1,2	-3,0	1,1	-0,9	9%

Os resultados da comparação entre os valores experimentais e os valores esperados pelo modelo algébrico proposto são próximos com desvios iguais ou inferiores a 11 %. Os desvios são explicados pela simplificação do modelo algébrico, pela imprecisão dos valores considerados de dielétrico e de condutividade e também devido às tolerâncias dimensionais. Mesmo assim, os resultados dos modelos algébricos se mostram válidos para fins de estimativa e dimensionamento da faixa de medidas do circuito eletrônico de medida.

² O limite inferior de medição da ponte BK Precision com conexão de 3 fios não alcança as impedâncias típicas com água salgada.

5.4.2 Dois materiais

Os resultados experimentais para arranjos com dois materiais estão mostrados na Tabela 21. Os interesses nessa etapa são dois. O primeiro se refere a uma validação absoluta dos modelos algébricos, isto é, os modelos algébricos para resistência, capacitância e sua composição em paralelo são testados a fim de verificar uma proximidade com os valores medidos como apresentado na Tabela 21. O segundo interesse se dá em verificar a modelagem do C^* conforme o mapeamento do sinal de capacitância, seja para o modelo de bolhas quando para o modelo anular. Assim, apresentaremos resultados obtidos para os insertos de PVC relacionando a fração de vazio com respectivo C^* na Tabela 22.

Tabela 21 – Resultado dos testes estáticos feitos para duas fases.

	Materiais	Padrão	Concentração Volumétrica	Experimental		Modelo Algébrico		Erro Algébrico
				Z (Ω)	Θ ($^\circ$)	Z (Ω)	Θ ($^\circ$)	
1	PVC - AR	Anular	90% AR	57252	-89,6	57667	-90	1%
2	PVC - AR	Anular	80% AR	56042	-89,6	56440	-90	1%
3	PVC - AR	Bolhas	10% AR	51675	-89,7	53770	-90	4%
4	Água Deionizada - PVC	Anular	80% PVC	13900	-85 $^\circ$	12300	-77 $^\circ$	17%
5	Água Torneira - PVC	Anular	80% PVC	596	-3,2 $^\circ$	689	-2,5 $^\circ$	15%
6	Água Salgada – PVC ³	Anular	80% PVC	1,9	-3,8 $^\circ$	2,3	-0,8 $^\circ$	22%

Os resultados da Tabela 21 mostram que, para os materiais PVC-AR os modelos algébricos tiveram grande convergência de resultados em relação aos dados experimentais. Já para os modelos envolvendo PVC - Água essa convergência deixa de existir passando a apresentar diferenças consideráveis. Assim como no modelo de uma fase, apontam para dois

³ Assim como na análise para um material as condições de água salgada também está fora da região de trabalho do Equipamento BK.

pontos principais essa diferença nos resultados. O primeiro ponto é a composição do experimento é PVC - Água e a composição do modelo algébrico é PVC - Ar. O segundo ponto é a complexidade dos modelos algébricos quando se refere à impedância no modelo anular para fluidos condutivos - dielétricos especialmente relacionados à dependência dos valores de constante dielétrica e de condutividade do meio. Não podemos deixar de notar que os dados obtidos para água salgada estão nos intervalos de fronteira do seu funcionamento em termos da sua impedância, conforme discutido no Capítulo 3.

Outra forma de abordar dois materiais é através dos modelos C^* e R^* . Os modelos de C^* são desenvolvidos no Capítulo 4 e representados pela Tabela 16. Para bolhas dispersas temos a respectiva função inversa que fornece uma relação explícita para a fração de vazio em função de C^* :

$$C^* = 1 - \alpha \left(\frac{3\varepsilon_{rL}}{\varepsilon_{rG} + 2\varepsilon_{rL}} \right) \text{ cuja inversa é } \alpha = \frac{1 - C^*}{\left(\frac{3\varepsilon_{rL}}{\varepsilon_{rG} + 2\varepsilon_{rL}} \right)}, \quad (86)$$

onde ε_{rL} é o dielétrico para a fase líquida e ε_{rG} dielétrico para a fase gasosa. Temos similar para o modelo anular:

$$C^* = +3,8(1 - \alpha)^2 \text{ cuja inversa é } \alpha = \frac{3,8 - \sqrt{14,4 - 32,4C^*}}{16,2}. \quad (87)$$

Temos que, à partir das capacitâncias medidas, são determinados os valores de C^* . Destes valores de C^* são obtidas as frações de vazio equivalentes, que são apresentadas pela Tabela 22:

Tabela 22 – Resultado dos testes estáticos feitos para duas fases e à partir do valor de capacitância o C^* calculado.

	Materiais	Padrão	α experimental e sua incerteza absoluta	α algébrico	Desvio Absoluto
1	PVC-AR	Anular	$(90 \pm 2,0) \%$	86%	4%
2	PVC-AR	Anular	$(80 \pm 1,8) \%$	76%	4%
3	PVC-AR	Bolhas	$(10 \pm 1,8) \%$	7%	3%

Assim, nestes três casos a diferença absoluta máxima entre o valor estimado e o esperado foi de 4%, um valor considerado aceitável quando se trata de medição de fração de vazio. Desta forma, podemos verificar que existiu correspondência entre o modelo capacitivo algébrico adimensional proposto e a correspondente fração de vazio.

5.5 Conclusões

Neste capítulo confrontamos os modelos algébricos propostos com medidas experimentais tomadas em condições estáticas do sensor. Os resultados obtidos são satisfatórios e cumprem um importante papel na fundamentação e nas expectativas deste projeto. Um dos limitantes dessa abordagem é a correta determinação das propriedades físicas e elétricas dos fluidos utilizados e as tolerâncias dimensionais dos dispositivos. O experimento usando um material mostra uma importante ferramenta para o dimensionamento do circuito elétrico. O experimento usando dois materiais valida o modelo C^* para o padrão anular e bolhas utilizando dois materiais dielétricos, exibindo um desvio absoluto máximo de fração de vazio de 4 %.

6 TESTES DINÂMICOS

Os testes dinâmicos são experimentos feitos utilizando escoamentos bifásicos, no nosso caso, água e ar, com o objetivo de verificar o funcionamento e a resposta do sensor de impedâncias desenvolvido. Este capítulo descreve o aparato experimental, as técnicas de medidas de fração de vazio, o procedimento dos testes e, por fim, a análise e comparação dos resultados.

6.1 Aparato experimental

O aparato experimental utilizado para o estudo está instalado no Laboratório do Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica na Universidade Estadual de Campinas. Esta seção descreve de forma sucinta as dimensões, componentes e princípios de funcionamento do aparato. Maiores detalhes podem ser encontrados em Gomes (2010).

O circuito de água, apresentado pela Figura 29, é composto por um tanque de armazenamento com capacidade de 3 m^3 . A água armazenada nesse tanque é bombeada por uma bomba centrífuga. O líquido passa por um filtro e em seguida através de um medidor de fluxo mássico. Após passar pelo medidor de vazão de água chega até o misturador, onde ocorre o início do escoamento bifásico. O controle da vazão de água é realizado por meio do controle de rotação da bomba centrífuga através de um inversor de frequência que controla o motor elétrico que aciona a bomba. Nos experimentos realizados a velocidade superficial da água variou entre 30 e 120 cm/s. A medida de vazão mássica de água é realizada por um medidor tipo Coriolis fabricado pela Metroval modelo RHM15 com capacidade de 4 a 200 kg/min, e uma incerteza de 1%.

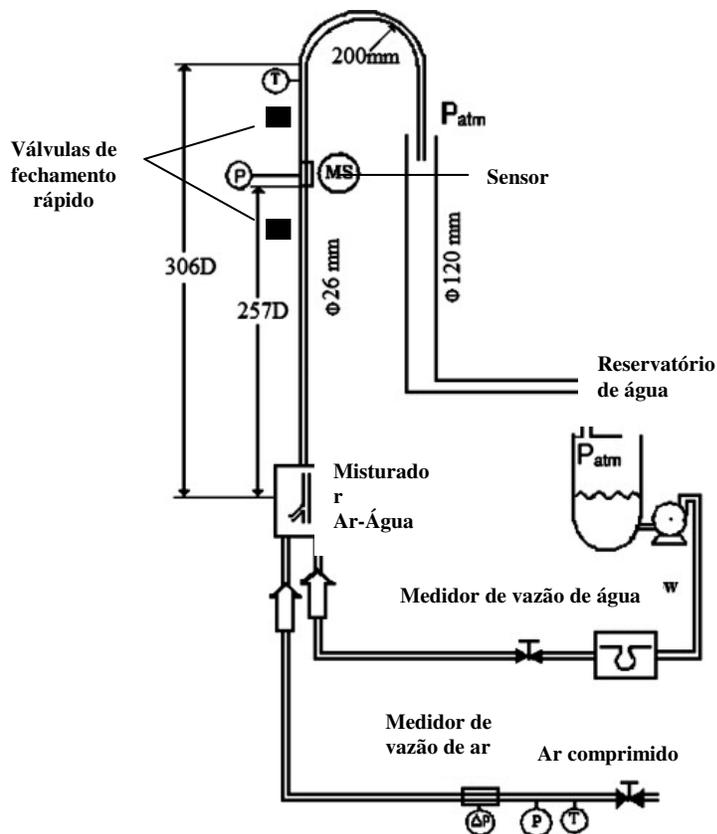


Figura 29 – Circuito de testes (Gomes, 2010)

O circuito de ar é alimentado por até 3 compressores em paralelo com capacidade total de $0,0914 \text{ Nm}^3/\text{s}$ (210 SCFM) a uma pressão entre 8 e 10 bar, sendo armazenado em um tanque com volume de 2 Nm^3 . O tanque de armazenamento descarrega na linha fazendo o ar passar pelo filtro e depois por uma válvula reguladora de pressão. A pressão manométrica é monitorada pelo transmissor de pressão SMAR modelo LD301. O ar é direcionado ao medidor de vazão de fluxo laminar com capacidade de até $4,348 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^3/\text{s}$ (3,0921 SCFM) e incerteza de 1%; após passar pelo medidor de vazão o ar é conduzido ao misturador. A velocidade superficial do ar aplicada durante os experimentos variou entre 10 e 670 cm/s.

A corrente bifásica é formada no misturador, cuja função é misturar as correntes de ar e água. Após o misturador inicia a seção de testes, que corresponde à segunda parte do circuito, onde os fluidos escoam simultaneamente. A seção de testes é constituída por uma tubulação de acrílico transparente com 306 diâmetros de extensão e 26 mm de diâmetro interno. O sensor está instalado na tubulação através de flanges a distância de 257 diâmetros do misturador ar-água.

As vazões de ar e água são monitoradas e controladas por uma rede Adam-4000 da Advantech, que são dispositivos de aquisição microprocessado, responsáveis pela interface entre os sensores dos instrumentos e o computador central. Utilizaram-se para essa finalidade uma rede RS-485, usando o protocolo ASCII (aberto). Remotamente, faz-se o controle dos módulos de vazão de ar e água através de “strings” de comando emitidas no formato ASCII. Através desse equipamento é possível adquirir ou emitir sinais de I/O digitais e analógicos. A rede amostra à taxa de 1Hz as informações provenientes dos sensores usados para o monitoramento dos fluidos.

O circuito eletrônico do sensor está conectado a um sistema de aquisição da National Instruments, NI modelo SCXI-1000. Os sinais analógicos variando entre 4 a 20 mA chegam a um conversor AD e multiplexador NI para depois serem armazenadas em arquivos. O sistema de aquisição tem uma taxa de aquisição de 3000Hz.

Os sinais aquisitados do sensor e de pressão são armazenados em computadores PC-Windows no ambiente LABVIEW®. O procedimento de seu tratamento e também sua análise são posteriormente descritos.

6.2 Técnicas de medidas de fração de vazio.

Duas técnicas experimentais de medidas de fração de vazio são utilizadas: o método gravimétrico e as válvulas de fechamento rápido. Ambas são utilizadas para validar as estimativas de fração de vazio do sensor.

6.2.1 Método gravimétrico corrigido

O método gravimétrico baseia-se no peso da coluna vertical da mistura de ar e água. A medida experimental da diferença de pressão entre duas tomadas de pressão espaçadas por uma distância L , veja Figura 30, é dada por:

$$\Delta p = (\rho_w - \rho_m) g L \quad (88)$$

Onde ρ_w é a densidade da água, g a aceleração da gravidade e ρ_m é densidade da mistura, definida por:

$$\rho_m = \rho_a \alpha + \rho_w (1 - \alpha) \quad (89)$$

sendo ρ_a a densidade do ar. Para pressão e temperatura próxima do ambiente, condições dos testes experimentais, pode-se considerar que, $\rho_a \ll \rho_w$ de forma que podemos simplificar para:

$$\rho_m = \rho_w (1 - \alpha) \quad (90)$$

considera-se a expressão acima válida para $0 < \alpha < 0,8$, a faixa experimental dos valores de α .

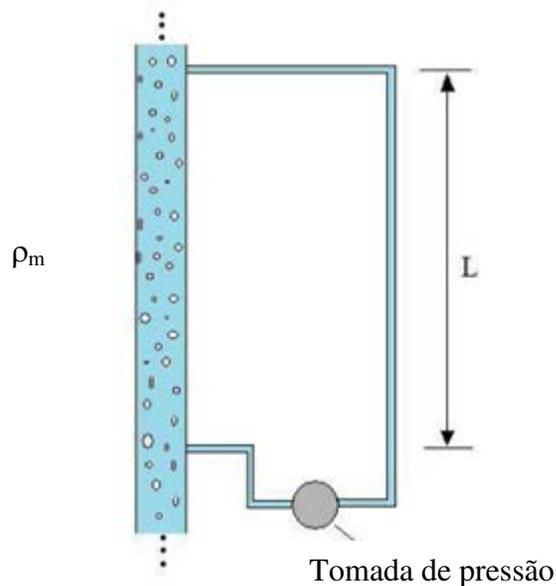


Figura 30 – Tubulação e tomada de pressão.

Substituindo a Equação (90) na (88), encontra-se que:

$$\Delta p = \alpha \rho_w g L \quad (91)$$

As Equações (88) ou (91) podem ser corrigidas reconhecendo que a queda de pressão é composta por duas parcelas: o peso e o atrito que a mistura exerce na parede do tubo. Assim:

$$\Delta p = \alpha \rho_w g L - \Delta p_\tau \quad (92)$$

A parcela de atrito é estimada considerando, por hipótese, uma mistura homogênea dentro do tubo, de forma que a queda de pressão é estimada à partir dos parâmetros da mistura:

$$\Delta p_\tau = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{\rho_m J^2}{2} \quad (93)$$

onde J é a velocidade superficial da mistura definida como sendo a soma das velocidades superficiais das fases $J=J_L+J_G$, sendo $J_L=Q_L/A$ e $J_g=Q_g/A$.

O fator de atrito f é estimado utilizando a notação de Blausius para tubos lisos e $Re < 10^5$:

$$f = \frac{0.316}{Re_m^{0,25}} \quad \text{sendo} \quad Re_m = \frac{JD\rho_m}{\mu_m} \quad (94)$$

Substituindo a Equação (94) e (93) em (92) e explicitando a expressão para α , encontra-se:

$$\alpha \simeq \frac{\Delta p}{\rho_w g L} + 0.158 \frac{\rho_m}{\rho_w} \frac{Fr^2}{Re^{0,25}} \quad (95)$$

onde $Fr^2=J^2 /gD$ e $Re=\rho_w JD/\mu_w$. Note que o termo entre parentesis constitui uma correção de estimativa de α considerando somente a força peso.

6.2.2 Válvulas de fechamento rápido

Trata-se de um método de medida de fração de vazio bastante simples. Consiste em duas válvulas de acionamento eletro-pneumático inseridas 4,7 m ao redor do sensor de impedâncias. As válvulas são do tipo esfera e tiveram que ser re-usinadas a fim de que o diâmetro de passagem, quando completamente aberta, coincidissem com o diâmetro da linha, 26mm ID. A fim de diminuir o tempo de fechamento foram escolhidas válvulas com abertura pneumática e fechamento por mola. Em cada válvula foi instalado um conjunto de quatro molas para garantir um tempo de fechamento entre 10 ms e 15 ms com um valor médio de 12 ms, conforme a representação da Figura 31.

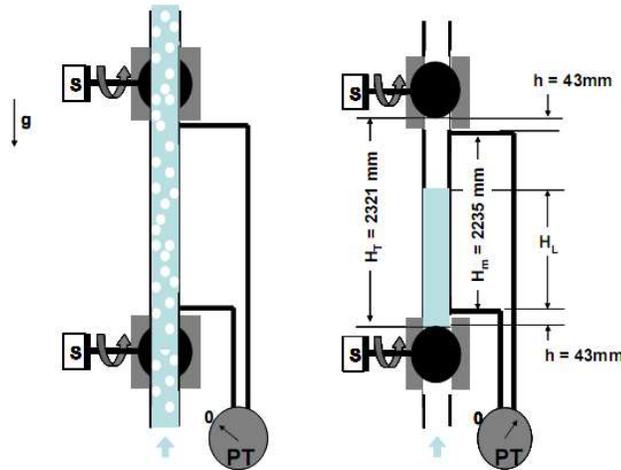


Figura 31 – Representação esquemática da seção com as válvulas de fechamento rápido.

Como o tubo possui uma seção transversal constante, a razão de volumes pode ser expressa pela razão de comprimentos:

$$\alpha_{\text{VALVULA}} = \frac{H_G}{H_T} \quad (96)$$

Onde H_G é a altura na coluna de gás, H_T é a altura da coluna. Entretanto, por questões de instalação, a tomada de pressão do manômetro fica deslocada da face da válvula uma distância h que cria uma altura “morta” na coluna. Considerando que a altura de coluna de líquido medida

pelo manômetro é H_L , então a fração de vazio pode ser re-calculada em função da altura de líquido lida pelo manômetro como:

$$\alpha_{\text{VALVULA}} = \frac{H_T - (H_L + h)}{H_T} \quad (97)$$

Devemos nos atentar que embora toda a simplicidade do método as válvulas de fechamento rápido apresentam imprecisões. O tempo de fechamento da válvula em relação a velocidade do escoamento sugere que, para escoamentos cuja velocidade da mistura é alto (padrão anular) o tempo de fechamento da válvula prejudica a precisão das medidas.

6.2.3 Procedimento dos testes.

O teste inicia medindo a voltagem de saída do circuito quando a tubulação está somente com líquido e depois somente com ar para estabelecer as voltagens de referência ‘cheio’ e ‘vazio’. Em seqüência os testes com ar e água são iniciados. Cada teste consiste em ajustar uma vazão de ar e água, aguardar a estabilização das vazões e adquirir os dados do sensor por 60 segundos numa taxa de 3000 amostras por segundo. Após adquirir os dados é anotado o diferencial do sensor a fim de computar posteriormente a fração de vazio utilizando-se o método gravimétrico. Por fim, são acionadas as válvulas de fechamento rápido da linha, quando acionadas estas válvulas interrompem o fluxo da mistura e o ar e a água neste trecho de tubo se separam. A fração de vazio é obtida por uma leitura direta do nível de líquido entre as válvulas. Após a leitura da fração de vazio as válvulas são reabertas, as vazões de ar e água são mantidas as mesmas, é aguardado o re-estabelecimento do regime permanente e o procedimento é repetido por mais três a cinco vezes. Isto é necessário para se obter uma boa repetibilidade das medidas de fração de vazio com as válvulas de fechamento rápido, que apresentam uma menor precisão.

6.2.4 Comparação entre a Válvula de Fechamento Rápido e o Método Gravimétrico Corrigido.

É realizada uma comparação entre os resultados da válvula de fechamento rápido com os dados obtidos pelo método gravimétrico corrigido. Os pontos experimentais tomados durante os testes são inseridos no mapa de fluxo de Taitel e Barnea (1980), veja Figura 32, para melhor visualizar a abrangência dos testes em torno das faixas de velocidade superficiais das fases e dos padrões. A grade de testes executada contém 16 pontos com velocidades de ar e líquido que variam para o gás de 0,1 m/s à 6,7 m/s e, para o líquido, de 0,3 m/s a 1,2 m/s. Os padrões observados são: (i) capa esférica (SC) caracterizado como transição entre bolhas dispersas e intermitente; (ii) bolhas alongadas ou ‘slug’ (S); (iii) bolhas alongadas instáveis (US) e (iv) semi anular ou ‘churn’ (AS), este último padrão é considerado uma transição para o padrão anular. A faixa de testes escolhida abrange o padrão intermitente e suas transições para as bolhas dispersas e o anular.

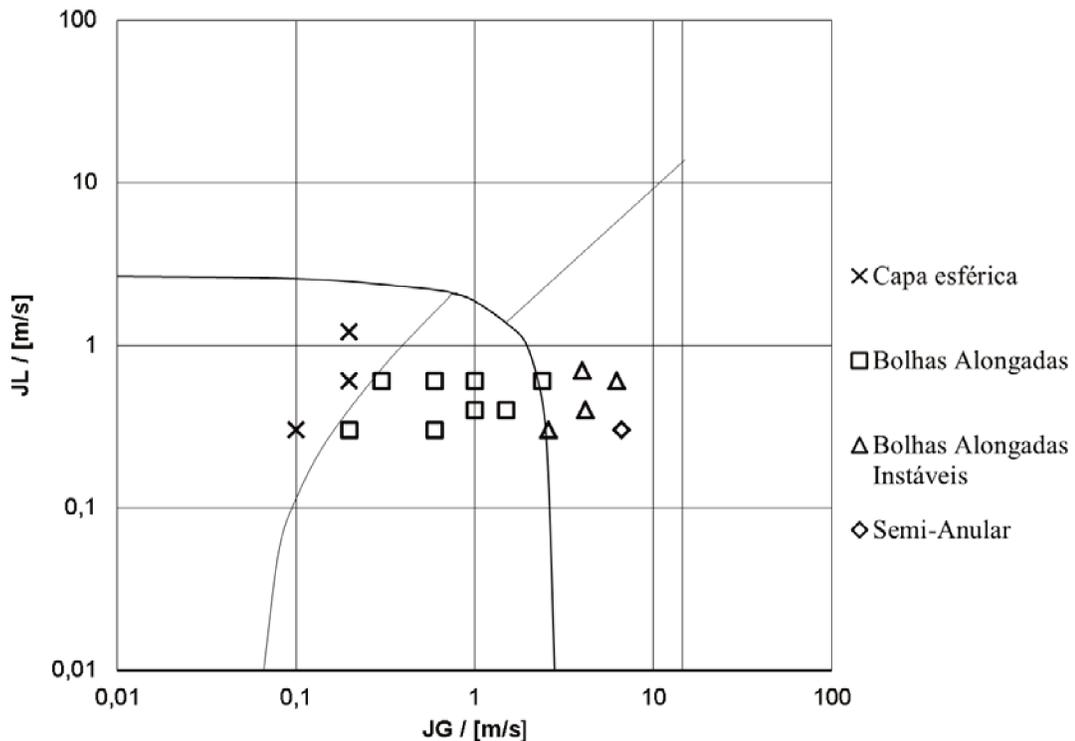


Figura 32 – Mapa de fluxo indicando os pontos trabalhados.

Com base nesses pontos, levantamos uma curva comparando as medições de frações de vazio obtidas por ambos os métodos e incluindo o método gravimétrico corrigido, veja a Figura 33.

A Tabela 23 apresenta com maiores detalhes a comparação entre o método gravimétrico, o método gravimétrico corrigido e a válvula de fechamento rápido. A tabela apresenta um índice que consiste no índice utilizado pelo grupo 2PFG em outros trabalhos, também apresenta as vazões de líquido, JL, e de gás, JG e N como o número de repetições feitas para cada um dos testes, além de identificar o padrão como SC, capa esférica, S, golfada, US, golfada instável e SA, semi-anular.

Tabela 23 – Comparação entre a fração de vazio da válvula de fechamento rápido com os valores de fração de vazio obtido pelo método gravimétrico e pelo método gravimétrico corrigido.

Teste	JL [m/s]	JG [m/s]	Padrão	Válvula de Fechamento Rápido α	Gravimétrico α	Gravimétrico α Corrigido	No
37	0,3	0,1	SC	13	14	15	5
38	0,6	0,2	SC	18	15	18	3
43	1,2	0,2	SC	9	2	10	3
2	0,4	1	S	56	56	60	3
3	0,6	1	S	48	46	52	3
5	0,4	1,5	S	61	64	68	4
9	0,6	2,4	S	64	61	70	5
20	0,3	0,6	S	51	52	54	3
24	0,6	0,3	S	21	20	23	3
25	0,6	0,6	S	42	35	39	4
32	0,3	0,2	S	23	24	25	4
8	0,3	2,6	US	72	75	81	5
11	0,4	4,2	US	78	70	82	4
12	0,7	4	US	67	57	75	4
15	0,6	6,3	US	71	60	84	4
14	0,3	6,7	AS	80,6	71	88	5

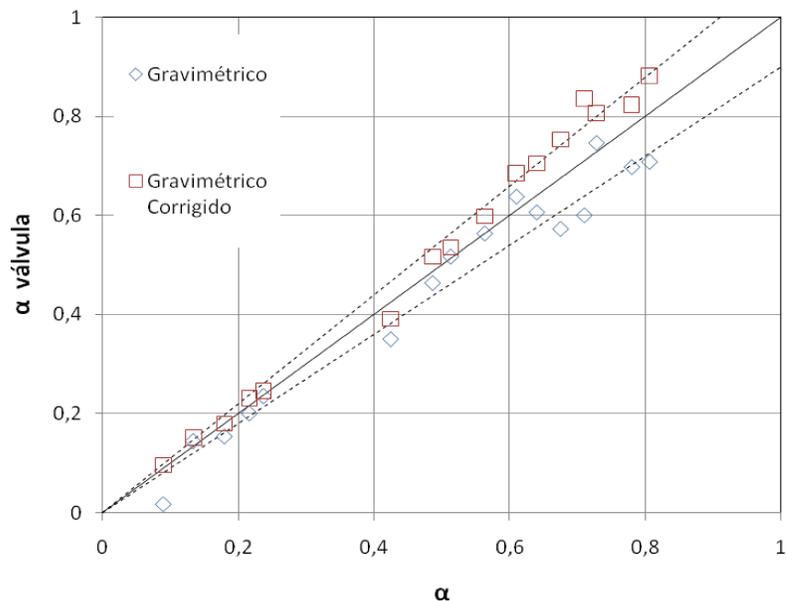


Figura 33 – Gráfico comparando os valores de frações de vazio obtidos pelo método gravimétrico, gravimétrico corrigido com os valores da válvula de fechamento rápido.

Percebe-se que existe uma grande convergência dos dados obtidos para valores de fração de vazio. A Figura 33 nos mostra que, traçada uma curva onde compreende $\pm 5\%$ dos dados existe grande convergência para os valores obtidos pela válvula, pelo método gravimétrico e pelo método gravimétrico corrigido. Entretanto, à medida que aumenta a fração de vazio e conjuntamente a velocidade da fase gasosa existe uma divergência um pouco maior entre os dados (acima de 0,6). Para fins do trabalho adotaremos majoritariamente as medidas da válvula de fechamento rápido.

6.3 Manipulações dos dados do sensor de impedâncias

Após executado o procedimento de testes, os arquivos obtidos através do ambiente LABVIEW® são armazenados no formato TXT. Assim, podem ser pós-processados com grande flexibilidade. O ambiente escolhido para o cálculo é o ambiente MATLAB® onde será calculada a média do sinal, mapeamento da série temporal, cálculo da função densidade de probabilidade e a construção de seus respectivos gráficos. A Figura 34 mostra uma série temporal da voltagem de

saída do sensor. O eixo Y da figura representa a voltagem variando entre 1V a 5V e o eixo X representa o tempo de aquisição do sinal em segundos. A série temporal vem do ponto de teste 2 das Tabela 23 e Tabela 24 que ocorre no padrão intermitente. Os valores elevados do sinal representam a passagem de pistões de líquido e os valores baixos à ocorrência de bolhas alongadas.

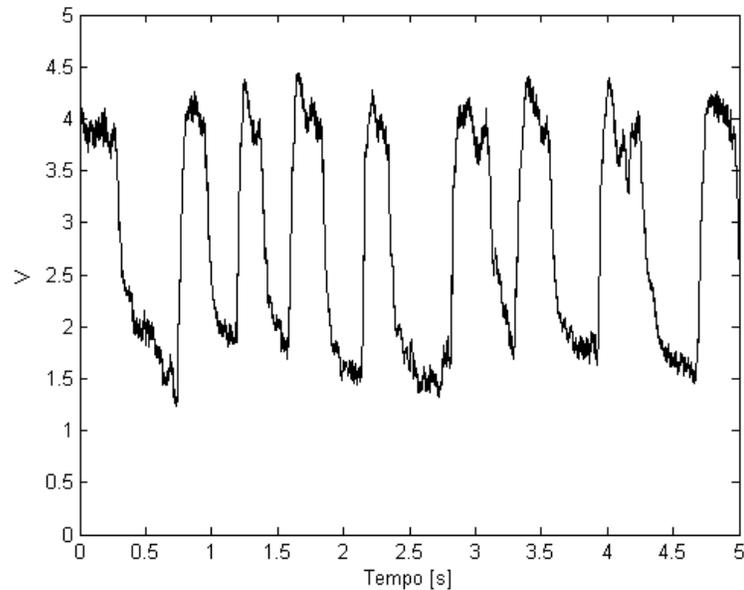


Figura 34 – Sinal temporal do sensor de impedâncias no ambiente MATLAB.

Considera-se que o volume de medida do sensor seja equivalente ao volume comprometido pelo tubo com um comprimento axial de aproximadamente $2D$, conforme como mostra a Figura 35. Isto é, a maior parte do seu sinal vem da variação da impedância ocorrida em num comprimento axial equivalente $2D$. Como o volume de medida é pequeno, considera-se que o seu sinal é representativo da fração de vazio média na seção transversal do tubo.

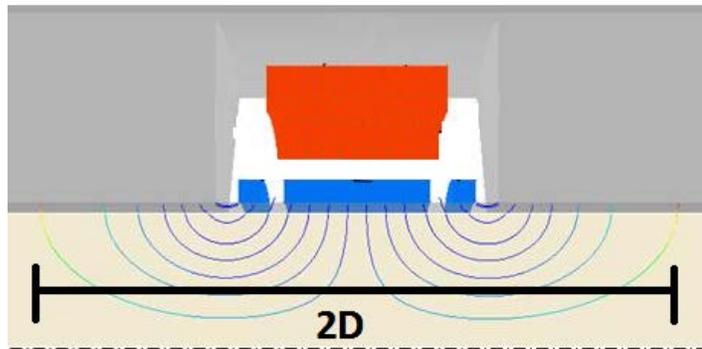


Figura 35 – Volume de medição do sensor.

Não é possível fazer uma comparação do sinal instantâneo do medidor com os dados experimentais de fração de vazio porque os valores experimentais representam um valor médio. Uma forma de validar o modelo algébrico proposto no Capítulo 4 para cálculo de fração de vazio é aplicar este modelo ao sinal instantâneo do sensor, fazer sua média e depois compará-lo contra os dados experimentais médios. Isto é feito numa seqüência de etapas representadas na Figura 36 e detalhadas a seguir:

(1) A série temporal de V , veja Figura 34, obtida na saída do sensor é transformada na voltagem relativa, V^* , conforme apresentado na seção 4.7.1 do Capítulo 4 com a Equação (82);

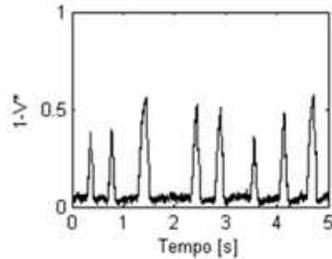
(2) A série temporal de V^* é mapeada em uma série temporal de fração de vazio utilizando as relações para R^* , previamente apresentado na seção 4.7.2 do Capítulo 4, através da Tabela 17 e da Figura 25;

(3) São obtidos os valores instantâneos da série temporal de fração de vazio, α_{sensor} ;

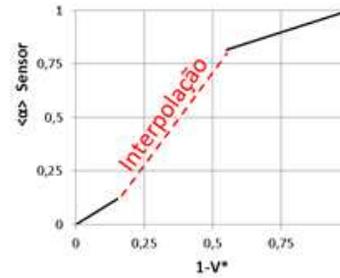
(4) O valor médio da série temporal de fração de vazio α_{sensor} é calculado a partir dos valores de fração de vazio instantâneos.

(5) O valor médio de fração de vazio α_{sensor} é comparado com o valor médio de fração de vazio obtido nas válvulas de fechamento rápido $\alpha_{\text{válvula}}$.

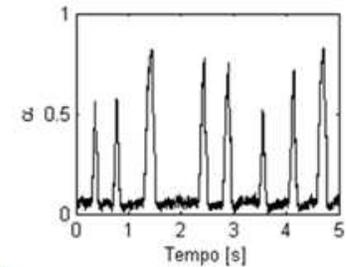
1. Série temporal V^*



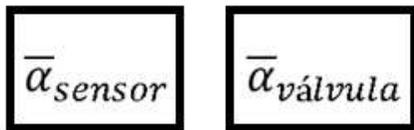
2. Aplicar Mapeamento em V^*



3. Obter α instantâneo



5. Comparar com α experimental



4. Média de α

$$\bar{\alpha}_{sensor} = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha[i]}{N}$$

Figura 36 – Validação do modelo algébrico, etapas utilizadas para a comparação entre o α do sensor e α da válvula de fechamento rápido.

6.4 Comparação dos resultados

A comparação entre a medida do valor médio obtido pelo sensor e as medidas experimentais utilizando-se do método gravimétrico e também as válvulas de fechamento rápido é apresentada através da Tabela 24. A tabela apresenta um índice que consiste no índice utilizado pelo grupo 2PFG, também apresenta as vazões de líquido, JL, e de gás, JG a identificação do padrão e os valores de α , desvio-padrão, valor máximo e valor mínimo para a válvula de fechamento rápido. Para o Sensor de Impedâncias é apresentado adicionalmente o valor de $1-V^*$ médio, e por fim para o método gravimétrico é apresentado também o α corrigido como já apresentado na seção 6.2.4. Para cada conjunto da tabela também é apresentado o número de medições feitas. Esse valor é representado por N e varia de 3 até 5 medidas.

Tabela 24 – Resultados comparativos, válvula de fechamento rápido, sensor de impedâncias e gravimétrico

Teste	Vazão		Padrão	Válvula de Fechamento Rápido				Sensor de Impedâncias					Gravimétrico				
	JL [m/s]	JG [m/s]		α	DP	Min.	Max.	Média α	DP	Min.	Max.	Média (1-V*)	α Corrigido	DP	Min.	Max.	N
37	0,3	0,1	SC	13,4	2,3	11	17	15	3,1	9	16	12,0	15	2,2	14	19	5
38	0,6	0,2	SC	18	1	17	19	22	2,6	15	20	17,0	18	0,6	18	19	3
43	1,2	0,2	SC	9	0	9	9	9	0,6	7	8	7,3	10	0,6	10	12	3
2	0,4	1	S	56,3	4,5	52	61	57	0,6	43	44	43,3	60	0,6	60	61	3
3	0,6	1	S	48,7	1,2	48	50	51	0,6	37	38	37,3	52	0,6	52	53	3
5	0,4	1,5	S	61	5,5	55	67	65	0,6	46	47	46,3	68	1,0	67	69	4
9	0,6	2,4	S	64	5,7	58	70	65	0,5	46	47	46,4	70	0,9	69	71	5
20	0,3	0,6	S	51,3	4,0	47	55	51	1,0	36	38	37,0	54	0,6	54	55	3
24	0,6	0,3	S	21,7	1,2	21	23	20	0,0	14	14	14,0	23	0,0	23	23	3
25	0,6	0,6	S	42,5	2,9	40	45	40	0,6	28	29	28,5	39	0,8	37	42	4
32	0,3	0,2	S	23,8	1,3	22	25	27	5,7	7	20	13,0	25	0,6	24	26	4
8	0,3	2,6	US	72,8	5,0	65	79	71	0,8	51	53	52,2	81	1,1	79	83	5
11	0,4	4,2	US	78	4,5	74	84	73	0,6	51	52	51,5	82	2,2	79	85	4
12	0,7	4	US	67,5	7,9	58	75	68	0,6	48	49	48,7	75	2,1	73	77	4
15	0,6	6,3	US	71	5,4	65	78	73	0,5	51	52	51,8	84	0,8	82	86	4
14	0,3	6,7	AS	80,6	5,7	73	86	76	0,0	55	55	55,0	88	0,8	88	89	5

Através da Tabela 24 é possível perceber que os valores de α são correlacionáveis entre os diversos métodos embora apresentem diferenças que fazem parte das características de cada um. Para o método gravimétrico é interessante mostrar que a velocidade da mistura influencia diretamente em sua acuidade devido à tensão de cisalhamento nas paredes. A apresentação do α corrigido apresenta melhora de resultado para um número limitado de frações de vazio, entretanto para outro conjunto extrapola ficando além das condições físicas. A válvula de fechamento rápido apresenta um grande desvio padrão e uma grande diferença entre o valor máximo e mínimo, entretanto a média corresponde bem com o esperado pelo sensor de impedância e também com o esperado pelo método gravimétrico quando o mesmo se aplica.

O valor médio de α estimado pelo sensor comparado contra as medidas experimentais é mostrado na Figura 37. A abscissa traz o valor de fração de vazio média dado pelo sensor enquanto que a ordenada mostra a fração de vazio média obtida pelas válvulas de fechamento rápido. Os símbolos SC, S, US e SA representam os padrões: capa esférica, golfadas, golfadas instáveis e semi-anular. A seqüência de fotografias acima da figura ilustra a distribuição de fases de cada um destes padrões. A correlação entre a medida do sensor e da válvula é linear e melhor que 98 %. Os dados mostram que o máximo desvio absoluto de α não ultrapassa 0,04, valor considerável aceitável para medição de fração de vazio. Em vista do favorável resultado desta comparação considera-se que o procedimento numérico para estabelecimento de modelos algébricos está validado como técnica de projeto e calibração deste tipo de sensor de impedância.

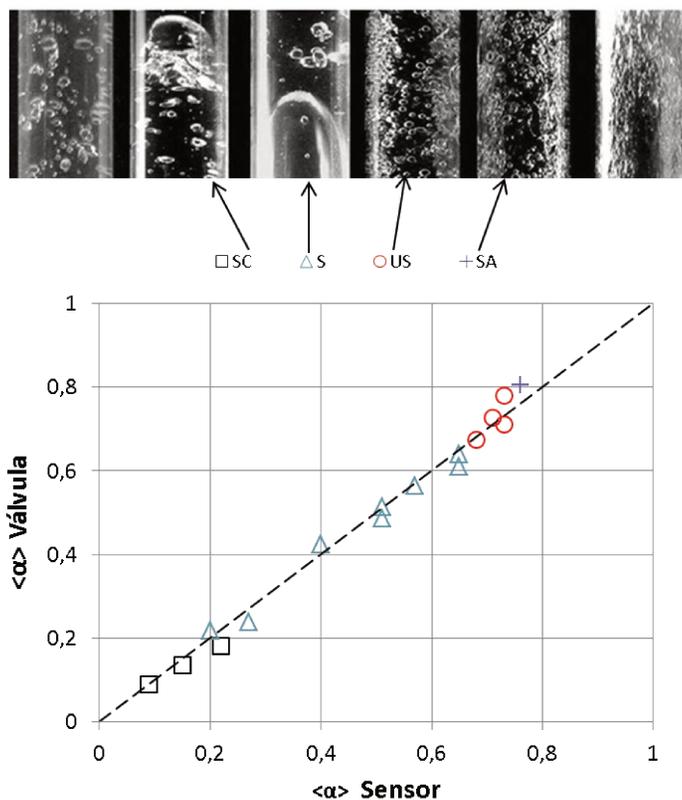


Figura 37 – Medição de fração de vazio, comparação entre sensor e válvula de fechamento rápido para os padrões SC, S, US e SA.

6.5 Aplicações do Sensor

Um sensor para medição de fração de vazio tem potencial aplicação nas áreas de monitoramento e controle de processos bifásicos em tubulações. Eles podem ser aplicados em:

i) Detecção de fases. Em muitas operações não é conhecido ao certo se está ocorrendo a passagem de gás e líquido simultaneamente na linha; isto é típico de partida e paradas de linhas. Nestas condições uma indicação instantânea do sinal do sensor poderá indicar se há ocorrência de escoamento bifásico ou não.

ii) Reconhecimento de Padrões. O conhecimento do padrão do escoamento permite a aplicação segura de modelos bifásicos fenomenológicos, usualmente mais precisos que modelos homogêneos ou mesmo correlações experimentais. Portanto o conhecimento do padrão do escoamento pode assegurar previsões das propriedades do escoamento bifásico com uma maior precisão. O padrão do escoamento está intimamente relacionado com a distribuição espacial das fases e por consequência com a fração de vazio do escoamento. Desde a década de 1970 é reconhecido que a função densidade de probabilidade é um indicador objetivo do padrão do escoamento (Jonas e Zuber 1975), isto é, pode-se por meio da função densidade de probabilidade da fração de vazio identificar o padrão do escoamento.

iii) Medição de Vazão. O conhecimento da vazão das fases é um dos parâmetros mais demandados pela indústria de óleo e gás para controle de inventário de óleo nos reservatórios. A possibilidade de haver um medidor de vazão bifásico para cada poço possibilitará um controle e otimização da produção bruta de óleo. Há comercialmente alguns tipos que medidores de vazão bifásicos (Crowe, 2006) entretanto eles apresentam um alto custo e frequentemente utilizam densitômetros gama para medida da fração de vazio. A possibilidade de um medidor mais simples e robusto possibilitará o desenvolvimento de medidores mais compactos, baratos e seguros.

6.5.1 Identificador objetivo de fases para reconhecimento de padrão.

Não é do escopo deste trabalho o desenvolvimento de técnicas autônomas de reconhecimento de padrão, uma revisão sobre este assunto encontra-se em Rosa et al. (2010). Pretende-se explorar nesta seção o sinal temporal bruto e fração de vazio instantâneas da sonda assim como a função densidade de probabilidade do sinal e associar a elas as características do padrão.

As figuras de Figura 38 a Figura 41 a 12 apresentam a série temporal de $(1-V^*)$ e de α assim como suas PDF associadas. A sequencia das figuras aplica-se para os pontos experimentais dos testes 37, 20, 8 e 14 identificados na Tabela 24 que são representativos dos padrões capa

esférica (SC), golfadas estável (S), golfadas instáveis (US) e semi-anular (SA). De uma maneira geral há uma correspondência direta entre o sinal temporal e a sua PDF associada entre os valores de $(1-V^*)$ e α porque a função de mapeamento aplicada é quase-linear por partes. Focando a atenção somente para os dados experimentais da fração de vazio observa-se que:

i) padrão capa esférica – há uma predominância de líquido ($\alpha \rightarrow 0$) com eventuais picos de α variando entre $0,5 < \alpha < 0,8$ indicando a passagem das capas esféricas pelo volume de medida do sensor. A PDF deste sinal possui moda próximo de zero porém tem forma assimétrica distorcida (skewed) à direita indicando a ocorrência eventual das passagens das capas esféricas.

ii) padrão golfadas – há uma alternância entre valores α na faixa $0,3 < \alpha < 0,8$ indicando a passagem dos pistões de líquido ($\alpha \rightarrow 0,3$) e das bolhas alongadas de gás ($\alpha \rightarrow 0,8$) de forma quase periódica como sugere o escoamento em golfadas de líquido. A PDF do sinal é bimodal com moda em 0.3 e 0.8, aproximadamente como era de se esperar para este padrão.

iii) padrão golfadas instáveis – este padrão é caracterizado por um aumento da vazão de gás que faz com que os pistões de líquido fiquem mais aerados. O sinal temporal ainda mostra uma alternância entre valores altos e baixos de α porém a duração do tempo de residência das bolhas é menor. A PDF do sinal mostra ainda uma distribuição bimodal porém o pico de líquido não é tão bem definido como no caso anterior e há uma tendência entre os picos de se aproximarem entre si.

iv) padrão semi-anular – este padrão é caracterizado por um filme espesso de líquido com um núcleo com ar úmido. O filme é instável de forma que pode haver regiões onde ele é ascendente e em outra descendente com a presença de ondas interfaciais. Este padrão é a transição entre o padrão golfadas e o anular. O sinal temporal de α permanece em níveis elevados e eventualmente cai; tipicamente ele fica na faixa compreendida entre 0.4 a 0.9. A periodicidade do sinal quase deixa de existir. A PDF do sinal possui moda próximo de 0,86 e tem forma assimétrica distorcida para a esquerda revelando que a maioria de ocorrência de α se dá em valores elevados.

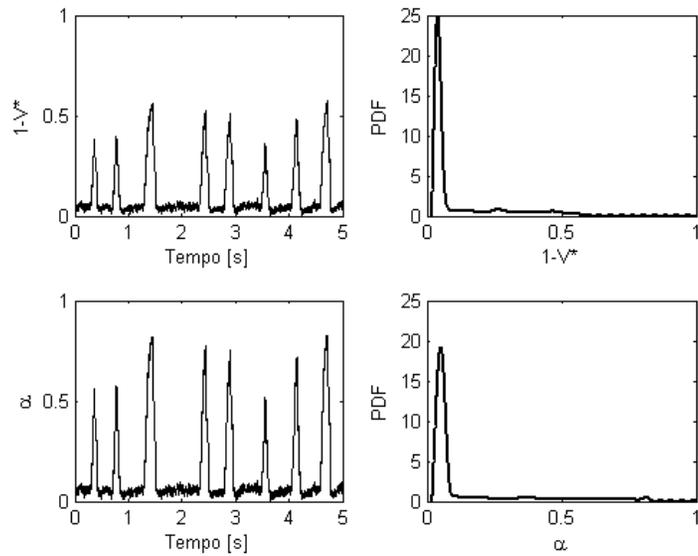


Figura 38 – Sinal temporal $1-V^*$, α , PDF do sinal $1-V^*$ e PDF do sinal α para o padrão capa esférica com velocidades $JL = 0,3$ m/s $JG = 0,1$ m/s.

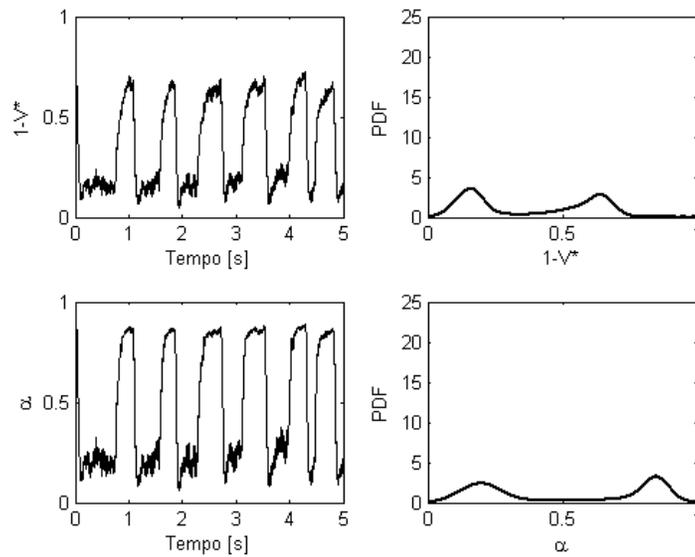


Figura 39 – Sinal temporal $1-V^*$, α , PDF do sinal $1-V^*$ e PDF do sinal α para o padrão golfadas com velocidades $JL = 0,3$ m/s $JG = 0,6$ m/s.

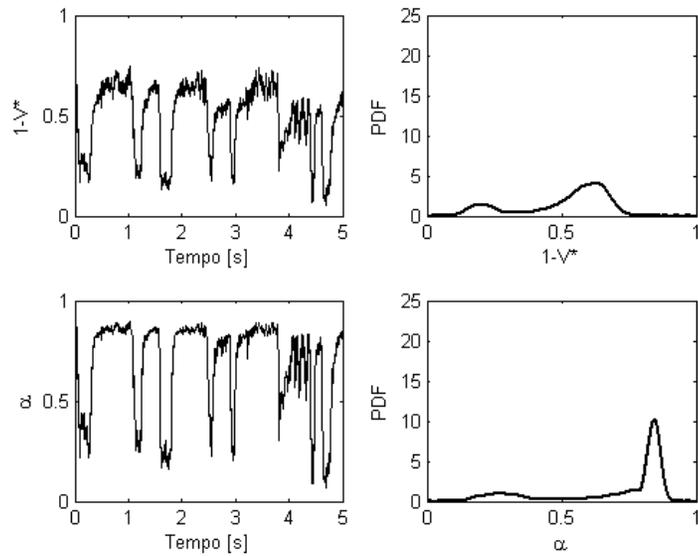


Figura 40 – Sinal temporal $1-V^*$, α , PDF do sinal $1-V^*$ e PDF do sinal α para o padrão golfinhos instáveis com velocidades $JL = 0,3 \text{ m/s}$ $JG = 2,6 \text{ m/s}$.

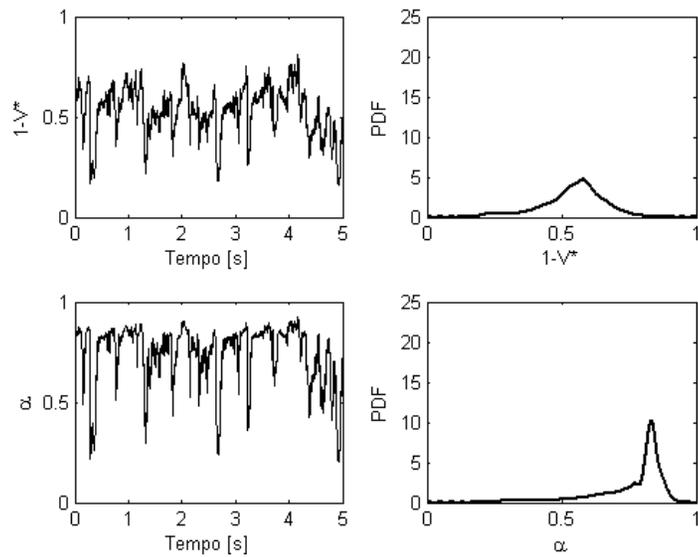


Figura 41 – Sinal temporal $1-V^*$, α , PDF do sinal $1-V^*$ e PDF do sinal α para o padrão semi anular com velocidades $JL = 0,3 \text{ m/s}$ $JG = 6,7 \text{ m/s}$.

Usualmente os métodos de reconhecimento de padrão autônomos utilizam a informação da forma da PDF ou mesmo os momentos estatísticos do sinal temporal para treinarem uma rede neural artificial, RNA, para mapear a forma da PDF ou seus momentos estatísticos com o padrão do escoamento, veja Rosa et al. (2010).

6.6 Conclusões dos testes dinâmicos

Os testes dinâmicos permitiram validar em termos médios da fração de vazio o modelo algébrico proposto a partir de simulações computacionais. Os resultados médios da fração de vazio estimados pelo sensor estão dentro de uma faixa de 4% com as medidas experimentais.

Não é possível validar as estimativas instantâneas da fração de vazio contra dados experimentais; porém, os sinais instantâneos de α , tanto da série temporal como da pdf do sinal, mostram-se coerentes com o processo físico esperado e com resultados previamente publicados na literatura. Além disto, a média de α coincide com o valor médio de α medido experimentalmente. Em vista destas evidências acredita-se que o valor instantâneo de α corresponda à realidade do processo.

Por último, mas não menos importante, cabe destacar que o método algébrico aborda o padrão bolhas e o anular apenas. Entre estes dois padrões foi proposta uma interpolação ad-hoc.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 Considerações preliminares

Com a conclusão deste trabalho, contribui-se com o conhecimento geral dos estudos de sensores de impedância para medição de fração de vazio em escoamentos bifásicos gás-líquido. Os princípios físicos do funcionamento de um sensor de impedância são apresentados e suportaram uma técnica de concepção do sensor e consequente modelagem algébrica de suas características, visando o mapeamento do sinal e assim medida da fração de vazio. Por fim, a metodologia para sua experimentação é apresentada, a com diferentes abordagens estáticas e dinâmicas, visando a sugerir diversas maneiras de se abordar a análise de um sensor de impedância desenvolvido.

7.2 Conclusões

O emprego de três anéis se mostrou sensível a detecção da impedância Z próxima da parede assim como no centro do tubo.

A medida com referência fixa, no caso o terra, possibilitou a utilização de sensores polarizados em par com um tubo metálico aterrado o que minimiza interferências eletromagnéticas e simplifica a construção mecânica dos carretéis.

A comparação favorável contra os dados experimentais assegura que é viável a utilização de software CFD para a concepção heurística de geometria e também como ferramenta de criação de uma curva de mapeamento do sinal para fração de vazio. Do ponto de vista de projeto ele introduz o uso de um sensor com três anéis, o uso de similaridade geométrica e a medição da

impedância Z com uma referência fixa. A introdução do conceito de similaridade geométrica estende a aplicação das curvas de calibração para tubulações de quaisquer outros diâmetros.

Testes experimentais em linha vertical escoando ar e água mostram que as medidas de fração de vazio do sensor apresentam um desvio absoluto menor que 0,04 na faixa de $0,10 < \alpha < 0,80$. Este mesmo desvio absoluto foi observado em testes estáticos com material de dielétrico próximo do óleo simulando os padrões anular e bolhas dispersas.

7.3 Sugestões para trabalhos futuros

Visando uma contribuição dentro do estudo do sensoriamento de escoamentos bifásicos utilizando sensores de impedância um estudo mais aprofundado sobre as propriedades elétricas dos fluidos é imprescindível. Dentro desse estudo se destaca, para aplicações na indústria do petróleo, as emulsões de óleo e água.

O sensor de impedâncias foi estudado e proposto para escoamentos na vertical, uma sugestão é seu estudo para diversas inclinações levando em consideração para sua modelagem o padrão de escoamento estratificado que possivelmente possibilitará uma nova curva de mapeamento entre as propriedades elétricas e as frações de vazio.

O sensor necessita de uma calibração que é dada pela definição da voltagem do tubo cheio e do tubo vazio. Esse é um aspecto que necessita de ser estudado para garantir o seu funcionamento de forma autônoma e sem que haja interrupção do escoamento.

O sensor abre porta para o estudo de escoamentos propriamente multifásicos, com a presença de partículas sólidas como areia, presença de água-óleo e gás, e outras combinações que podem ser úteis para, por exemplo, indústria alimentícia. Assim seria interessante o estudo de sua resposta nessas condições.

Por fim, a técnica empregada para o desenvolvimento do sensor também possa contribuir para um futuro desenvolvimento de um tomógrafo de impedâncias elétricas, esse com grande

grau de complexidade e buscando um grande detalhamento da dispersão do escoamento na tubulação.

Referências

- [1] http://clippercontrols.com/info/dielectric_constants#P acessado em 01/02/2011
- [2] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Condutividade> acessado em 01/02/2011
- [3] <http://www.bkprecision.com/products/model/889A/bench-lcr-meter-with-component-tster.html> acessado em 01/02/2011

ABOUELWAF A. M. S. A.; KENDALL E. J. M.; **The Use of Capacitance Sensors for Phase Percentage Determination in Multiphase Pipelines**, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. Im-29, 1980.

AHMED W. H.; **Capacitance Sensors for Void-Fraction Measurements and Flow-Pattern Identification in Air-Oil Two-Phase Flow**, IEEE Sensors Journal, Vol. 6, 2006.

ANDREUSSI, P.; DONFRANCESCO A.; MESSIA M. **Na Impedance Method for the Measurement of Liquid Hold-Up in Two-Phase Flow**, Int. J. Multiphase Flow, Vol 14, 1988.

BROWN, R. C., ANDREUSSI, P., ZANELLI, S. **The use of wire probes for the measurement of liquid film thickness in annular gas-liquid flows**. The Canadian journal of chemical engineering, v.56 pp 754-757.

CANIERE, H. JOEN, C.T., WILLOCKX, A., PAEPE, M., CHISTIANS, M., ROOYEN, E., LIEBENBERG, L., MEYER, J.P., **Horizontal two-phase flow characterization for small diameter tubes with a capacitance sensor**. Meas. Sci. Technol 18 pp 2898-2906 2007.

CANIERE, H. JOEN, C.T., WILLOCKX, A., PAEPE, M., **Capacitance Signal Analysis of Horizontal Two-Phase Flow in a Small Diameter Tube**, Experimental Thermal and Fluid Science, 2008.

CIMORELLI, L., EVANGELISTI, R. **The application of the capacitance method for void fraction measurement in bulk boiling conditions.** Int. J. Heat Mass Transfer, v.10, pp 277-288, Pergamon Press Ltd. 1967.

COSTIGAN, G., WHALLEY P.B., **Slug Flow Regime Identification from Dynamic Void Fraction Measurements in Vertical Air-Water Flows.** Int. J. Multiphase Flow, V.23, 1997.

CROWE, C. T.; **Multiphase flow handbook**, CRC Press, USA, 2006.

DAS, R. K., PATTANAYAK, **Electrical impedance method for flow regime identification in vertical upward gas-liquid two-phase flow**, Meas. Sci. Technol. 4, 1993.

DUARTE, L. G, PRATA, A. T., **Geometria de Sensores Capacitivos Aplicados em Escoamentos Multifásicos, II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – Conem 2002.**

DONG F.; JIANG, Z.X.; QIAO X.T.; XU L.A. **Application of Electrical Resistance Tomography to Two-Phase Pipe Flow Parameters Measurement**, Flow Measurement and Instrumentation, 14, 2003.

ELKOW K. J., REZKALLAH K. S., **Void Fraction Measurements in Gas- Liquid Flows Using Capacitance Sensors**, Meas. Sci. Technol. 7. 1997.

ELKOW K. J., REZKALLAH K. S., **Void Fraction Measurements in Gas- Liquid Flows Under Capacitance Sensors**, Int. J. Multiphase Flow Vol. 23 1997.

FOSSA M., GUGLIELMINI G., MARCHITTO A.; **Intermittent Flow Parameters from Void Fraction Analysis**, Flow Meas. And Inst., Vol. 14, 2003.

GERAETS, J. J. M., BORST, J. C., **A Capacitance Sensor for Two-Phase Void Fraction Measurement and Flow Pattern Identification**, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 14, No. 3, 1988.

GRIFFITHS, D. J. **Introduction to electrodynamics** 3rd edition, Prentice Hall, 1999.

HAUS H. A.; MELCHER J. R.; ZAHN M.; SILVA M. L.; **Electromagnetic Fields and Energy**, Prentice Hall, USA, 1989.

HEERENS, W. C., **Application of Capacitance techniques in sensor design**. Review Article, J. Phys. E: Sci. Instrum. 19, 1986.

HERVIEU, E.; SELEGHIM P.; **An Objective Indicator for Two-Phase Flow Pattern Transition**, Nuclear Eng. And Design, Vol. 184, 1998.

HOLLER, G., THURNER, T., ZANGL, H. BRASSEUR, G., **A Novel Capacitance Sensor Principle Applicable for Spatially Resolving**, Downhole Measurements, 2002.

HUANG, S. ZHANG, X., WANG, D. LIN, Z., **Equivalent Water Layer Height (EWLH) Measurement by a Single-Wire Capacitance Probe in Gas-Liquid Flows**, Flow Measurement and Instrumentation, 2008.

JAWOREK, A., KRUPA, A., TRELA, M., **Capacitance Sensor for Void Fractions Measurement in Water/Steam Flows**, Flow Measurement and Instrumentation, 2004.

KESKA, J. K., SMITH, M. D., WILLIAMS. B. E., **Comparison Study of a Cluster of Four Dynamic Flow Pattern Discrimination Techniques for Multi-Phase Flow**. Flow Meas. Inst. 10, 1999.

LOWE, D., REZKALLAH, K. S., **Flow regime identification in microgravity two-phase flows using void fraction signals**, Internation Jornal of Multiphase Flow 25, 1999(a).

LOWE, D., REZKALLAH, K. S., **A Capacitance Sensor for the Characterization of Microgravity Two-Phase Liquid-Gas Flows**, Meas. Sci. Technol. 10, 1999(b).

MA, Y. P., CHUNG, N. M., PEI, B. S., HSU, Y. Y., **Two Simplified Methods to Determine Void Fractions For Two-Phase Flow**, Nuclear Technology, 1991.

MASTELARI, N. ZWANZIGER, M. ROSA, S, **Capacitive Sensor for Dynamic Gas-Liquid Phase Detection ub Two-Phase Flows**, COBEM 2005.

MERILO M.; DECHENE R. L.; CICHOWLAS W. M. **Void Fraction Measurement with a Rotating Electric Field Conductance Gauge**, J. Heat Transfer, Vol 99, 1977.

MIRTAHERI, P., GRIMNES, S., MARTINSEN, O.G., **Electrode Polarization Impedance in Weak NaCl Aqueous Solutions**, IEEE Trans Bio. Engineering, Vol 52, no, 12.

REIS, E., Goldstein L., **A non-intrusive probe for bubble profile and velocity measurement in horizontal slug flows**, Flow Measurement and Instrumentation, vol 16 2005.

ROSA, E.S., MASTELARI, N.; MAZZA, R.A., **Desenvolvimento de Técnicas de Medidas, Instrumentação**, Relatório Técnico BR, contrato 0050.0030935.07.2, 2010a.

ROSA, E.S., SALGADO, R.M.; OHISHI, T., MASTELARI, N., **Performance Comparison of Artificial Neural Networks and Expert Systems Applied to Flow Pattern Identification in Vertical Ascendant Gas Liquid Flows**, Int. J. Multiphase Flow, 36, 738-754, 2010b.

ROSA, E.S., MASTELARI, N.; MAZZA, R.A., **Desenvolvimento de Técnicas de Medidas, Instrumentação**, Relatório Técnico BR, contrato 0050.0030935.07.2, 2010a.

ROSA, E.S., SALGADO, R.M.; OHISHI, T.; MASTELARI, N., **Performance Comparison of Artificial Neural Networks and Expert Systems Applied to Flow Pattern Identification in Vertical Ascendant Gas Liquid Flows**, Int. J. Multiphase Flow, 36, 738-754, 2010b.

SAMI, M., ABOUELWAFI, A., KENDALL, J.M., **The Use of Capacitance Sensor for Phase Percentage Determination in Multiphase Pipelines**, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. IM-29, no.1. 1980.

SONG, C. H., NO, H. C., CHUNG, M. K., **Investigation of Bubble Flow Developments and Its Transition Based on the Instability of Void Fraction Waves**, Int. J. Multiphase Flow Vol. 21, No. 3, 1995.

TEYSSEDOU, A., TYE, P., **A Capacitive Two-Phase Flow Slug Detection System**, American Institute of Physics, Vol. 70, 1999.

TAN C., DONG F. WU, M. **Identification of gas/liquid two-phase flow regime through ERT-based measurement and feature extraction**, Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 18, 2007.

TIN, G., NEGRINI, A., **Development of the Electrical impedance probes for void fraction measurements in air-water flow**. Multiphase transport fundamentals, reactor safety and applications. V.5 pp 2709-2730 1980.

TOURNAIRE, A., Dependence of the Instantaneous Response of Impedance Probes on the Local Distribution of the Void Fraction in a Pipe, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 12, 1019-1024, 1986.

YANG, H.C., KIM, D.K., KIM, M.H. Void fraction measurement using impedance method, Flow Measurement and Instrumentation, vol 14, 2003.

APÊNDICE A – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS SENSORES

O objetivo desta análise é determinar como a largura do eletrodo, espaçamento dos isolantes e diâmetro do tubo alteram a capacitância do meio. Além disto, procura-se também analisar as linhas equipotenciais e linhas de campo elétrico para inferir qualitativamente a sensibilidade espacial do sensor. Estas informações constituirão uma base teórica fundamental para compatibilizar o uso do circuito eletrônico de medida com uma aplicação específica por meio de modificações nas dimensões do sensor.

Os cálculos de capacitância consideram que o tubo está cheio de ar cuja constante dielétrica é: $\epsilon = 8,85 \times 10^{-12}$ F/m. O circuito eletrônico excita o sensor com uma voltagem de 10V numa frequência de 100 kHz. As dimensões do eletrodo são expressas em múltiplos ou sub-múltiplos do diâmetro do tubo. Neste estudo considera-se como referência um tubo com diâmetro $D = 0,059$ m.

O cálculo da capacitância do meio é realizado com o auxílio do pacote comercial PHOENICS. O potencial elétrico é obtido por meio da solução numérica da equação (5-6). Uma vez conhecido o potencial elétrico o vetor campo elétrico é determinado pela equação (5-7) e subseqüentemente é realizado o cálculo da capacitância.

Sensor anel

As dimensões T, I e E do sensor anel estão representadas na Figura 6. A Tabela 25 mostra as dimensões de um sensor de referência expressas em função do diâmetro do tubo sendo que $D = 0,059$ m.

Tabela 25 – Dimensões padrão do Sensor Anel, $D= 0,059$ m

Cota	Comprimento axial	Dimensão
T	tubo	2D
I	isolante	D/4
E	eletrodo	D/2

O comprimento axial do tubo que aparece na Tabela 25 poderia ser qualquer valor maior que 2D. Como o cálculo da capacitância foi realizado numericamente, a dimensão (T) é necessária para especificar a dimensão axial do domínio de cálculo numérico, $13/4$ D. Foi observado numericamente que a variação do potencial elétrico ocorre numa distância axial menor que 1D da borda do eletrodo. Assim sendo adotou-se por medida de segurança uma distância axial do tubo de 2D para assegurar que não há nenhum efeito de borda influenciando nos valores calculados do potencial elétrico.

A variação da capacitância em função do comprimento axial do eletrodo (E) é mostrada na Tabela 26. Na análise onde somente a dimensão (E) varia as dimensões (T), (I) e D são aquelas definidas na Tabela 25. Observa-se nos resultados que a variação do comprimento axial do eletrodo (E) causa pouca influência na capacitância.

Tabela 26 – Variação no comprimento axial do eletrodo (E), $D= 0,059$ m.

Dimensão (E)	Capacitância (pF)
D/8	1,23
D/4	1,39
D/3	1,45
D/2	1,51
D	1,54

A variação da capacitância em função do comprimento axial do isolante (I) é mostrada na Tabela 27. Na análise onde somente a dimensão (I) varia as dimensões (T), (E) e D são aquelas definidas na Tabela 25. Observa-se nos resultados que a variação do comprimento axial do isolante (I) influi na capacitância, a medida que diminui a dimensão axial do isolamento o valor de capacitância aumenta.

Tabela 27 – Variação no comprimento axial do isolamento, I, D=0,059 m.

Dimensão (I)	Capacitância (pF)
D/8	2,02
D/4	1,51
D/3	1,30
D/2	1,02
D	0,65

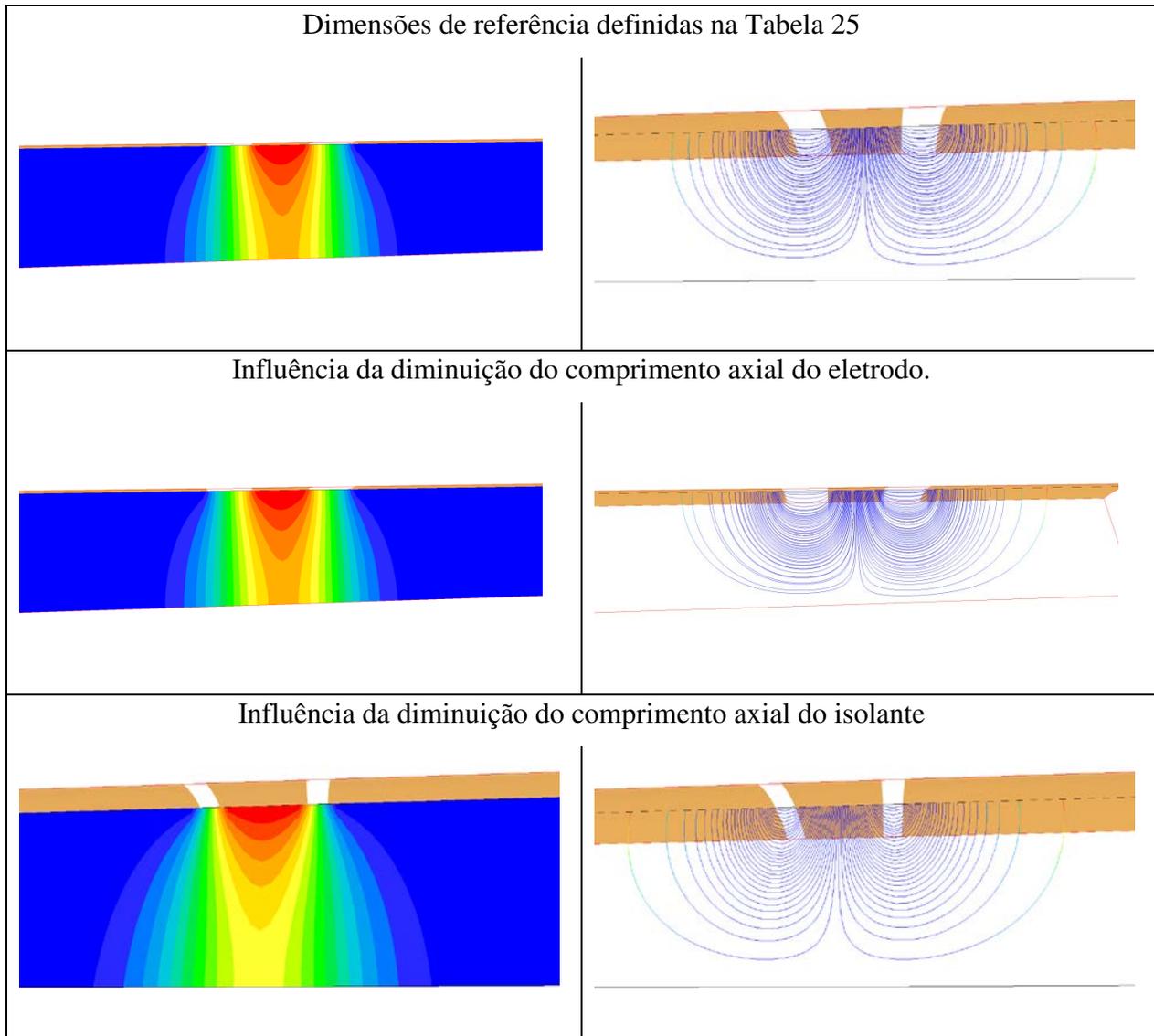
Por fim, a variação da capacitância em função do diâmetro D do tubo é mostrada na Tabela 28. Na análise onde somente o diâmetro varia todas as configurações são geometricamente similares. Observa-se nos resultados que o aumento do diâmetro faz o valor de capacitância aumentar.

Tabela 28 – Variação no diâmetro do tubo.

Dimensão (D)	Capacitância (pF)
D/2	0,75
D	1,51

A análise da variação da capacitância em função das dimensões do sensor realizada é complementada com a determinação das superfícies equipotenciais e das linhas tangentes ao vetor campo elétrico mostradas na Tabela 26. A primeira linha da tabela mostra as superfícies equipotenciais e as linhas tangentes ao vetor campo elétrico para um sensor com dimensões mostradas na Tabela 25. Observa-se que as superfícies equipotenciais variam axialmente e radialmente a partir do centro do eletrodo; este comportamento é refletido nas linhas tangentes ao vetor campo elétrico. Quando o comprimento axial do eletrodo é diminuído, veja segunda linha da tabela, observa-se visualmente que as equipotenciais e as linhas tangentes ao vetor campo elétrico pouco mudaram na sua forma. Isto é, a variação da dimensão axial do eletrodo tem pouca influência na capacitância do sensor. Por outro lado quando a distância axial do isolante diminui, veja terceira linha da tabela, há mudanças nos campos. Observa-se o gradiente de V próximo ao eletrodo que aumenta e as linhas de E deixam de penetrar até ao centro do tubo. Este comportamento significa uma menor sensibilidade do sensor para eventos que ocorrem no centro do tubo, por exemplo, a passagem de uma bolha.

Tabela 29 – Superfícies equipotenciais e linhas tangentes ao vetor campo elétrico.



O comportamento do sensor de anel pode ser representado qualitativamente por meio de uma analogia ao capacitor de placas paralelas. Neste tipo de capacitor, a capacitância é definida pela razão entre a área entre as placas, A , e o seu espaçamento, L ;

$$C = \varepsilon \frac{A}{L} \quad (5-19)$$

Observando que no sensor de anel as linhas tangentes a E cruzam a seção transversal e sua distribuição depende do espaçamento do isolante pode-se estabelecer uma analogia com o

capacitor de placas paralelas definindo a área como sendo proporcional á área da seção transversal do tubo e a distância entre placas como sendo a largura (I) do isolante:

$$C_{\text{anel}} \approx \varepsilon \frac{\overbrace{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}^{\text{Área}}}{\underbrace{nD}_{\text{distância entre placas}}} \rightarrow C_{\text{anel}} = \varepsilon \lambda_a \frac{D}{n} \quad (5-20)$$

Na equação (5-20), n representa um múltiplo ou submúltiplo do diâmetro. O sinal aproximado é substituído por uma igualdade introduzindo um fator de forma adimensional λ_a . Observa-se que a capacitância cresce com o aumento do diâmetro e diminui com o aumento da distância axial do isolante, características observadas nas análises.

Sensor Côncavo

As dimensões T, I e E do sensor de placa côncava estão representadas na Figura 7. O fato de a placa côncava estar na superfície interna do tubo ocupando um setor angular do tubo e um comprimento axial requer que as dimensões T, I e E sejam definidas em termos da sua extensão angular e axial. A Tabela 30 mostra as dimensões do sensor de referência sendo que $D = 0,059$ m.

Tabela 30 – Dimensões padrão do Sensor Côncavo, $D=0,059$ m

Cota	Dimensão angular	Dimensão axial
	graus	(D)
T	180	2D
I	30	D/16
E	120	D/3

A Figura 42 mostra, no sensor de placa côncava, as superfícies equipotenciais e as linhas tangentes ao vetor campo elétrico. O sensor mostrado tem três placas côncavas ao invés de apenas uma. De fato o eletrodo principal é a placa central e as duas placas adjacentes são eletrodos de

guarda cuja função é fazer com que o campo elétrico fique reduzido ao plano bi-dimensional r θ do tubo, isto é, o campo emanado do eletrodo principal não varia na direção axial. Um segundo elemento que a figura destaca é o isolante. Observe que no isolante a variação das equipotenciais na sua superfície é nula, isto é, $\partial V/\partial n = 0$. As equipotenciais são superfícies coincidentes com a curvatura do tubo e variam quase uniformemente do eletrodo ao tubo. O campo elétrico, ortogonal às equipotenciais, cruza a seção do tubo em linhas quase paralelas na região central. Devido a regular distribuição das linhas de campo pode-se dizer que a passagem de uma bolha em qualquer ponto na seção transversal pode ser detectada, esta configuração não possui região cega.

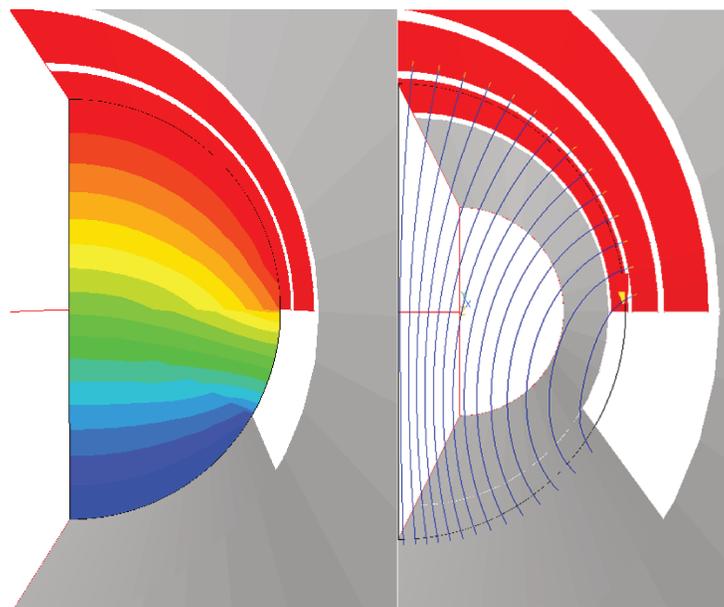


Figura 42 – Linhas equipotenciais e linhas tangentes ao vetor campo elétrico para sensor côncavo padrão.

A variação da capacitância em função do comprimento axial do eletrodo (E) é mostrada na Tabela 31. Na análise onde somente a dimensão (E) varia a dimensões (T), (I) e D são aquelas definidas na Tabela 32. Observa-se nos resultados que o aumento do comprimento axial do eletrodo (E) faz aumentar a capacitância numa taxa linear.

Tabela 31 – Variação no comprimento axial do eletrodo, $D=0,059$ m.

Dimensão (E)	Capacitância (pF)
D/16	0,16
D/8	0,23
D/4	0,33
D/3	0,42
D/2	0,49
D	0,88

A variação da capacitância em função do comprimento axial do isolante (I) é mostrada na Tabela 32. Na análise onde somente a dimensão (I) varia as dimensões (T), (E) e D são aquelas definidas na Tabela 30. A variação da extensão axial do isolante tem pouca influência na capacitância. Isto era esperado uma vez que o campo elétrico é quase bidimensional devido a presença dos eletrodos de guarda.

Tabela 32 – Variação no comprimento axial do isolamento, $D=0,059$ m.

Dimensão (I)	Capacitância (pF)
D/4	0,49
D/8	0,45
D/16	0,42

Por fim, A variação da capacitância em função do diâmetro D do tubo é mostrada na Tabela 33. Na análise onde somente o diâmetro varia todas as configurações são geometricamente similares. Observa-se nos resultados que o aumento do diâmetro faz a capacitância aumentar.

Tabela 33 – Variação no diâmetro do tubo.

Diâmetro do Tubo (D)	Capacitância (pF)
D	0,42
D/2	0,18

Observando que no sensor de placa côncava as linhas tangentes a E cruzam a seção transversal do tubo pode-se estabelecer uma analogia com o capacitor de placas paralelas definindo a área como sendo proporcional á área da seção transversal do tubo e a distância entre placas como sendo proporcional ao diâmetro do tubo

$$C_{\text{côncavo}} \approx \varepsilon \frac{\overbrace{nD \cdot D}^{\text{Área}}}{\underbrace{D}_{\text{distância entre placas}}} \rightarrow C_{\text{côncavo}} = \varepsilon \lambda_c (nD) \quad (5-21)$$

Na equação (5-21), o comprimento axial do eletrodo é representado por nD , $0 \leq n \leq 10$. O sinal aproximado é substituído por uma igualdade introduzindo um fator de forma adimensional λ_c . Observa-se que a capacitância cresce com o aumento do diâmetro sendo tanto maior quanto maior for n . Porém sabe-se que eletrodos com extensão axial equivalente a vários diâmetros perdem sensibilidade para detectar passagem de interfaces gás-líquido por que passam a amostrar o escoamento num volume e não mais em uma seção transversal do tubo.

APÊNDICE B – CÓDIGOS PHOENICS

Esse Apêndice apresenta os códigos Phoenix Q1 e os seus respectivos resultados na forma de RESULTS. Os códigos apresentados serão para o sensor escolhido e o tubo cheio de um dielétrico, o padrão anular e o padrão bolhas dispersas.

Tubo Cheio

Para o Tubo Cheio temos a seguinte montagem no software Phoenix, conforme a Figura 43.



Figura 43 – Montagem Phoenix para o tubo cheio.

Tube Cheio Q1

Q1 created by VDI menu, Version 3.6,
CPVNAM=VDI;SPPNAM=Core

```
---
Echo DISPLAY / USE settings
---
IRUNN = 1 ;LIBREF = 0
---
Group 1. Run Title
TEXT(Medidor Impedancia 1 Anel )
---
Group 2. Transience
STEADY = T
---
Groups 3, 4, 5 Grid Information
* Overall number of cells, RSET(M,NX,NY,NZ,tolerance)
RSET(M,1,201,200)
* Cylindrical-polar grid
CARTES=F
---
Group 6. Body-Fitted coordinates
---
Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED
ONEPHS = T
* Non-default variable names
NAME(144)=CAPA ; NAME(145)=QTOT
NAME(146)=AREA ; NAME(147)=QCEL
NAME(148)=CAMP ; NAME(149)=VOLT
NAME(150)=TEMI
* Solved variables list
SOLVE(TEMI)
* Stored variables list
STORE(VOLT,CAMP,QCEL,AREA,QTOT,CAPA,W1 ,V1 )
STORE(U1 )
* Additional solver options
SOLUTN(TEMI,Y,Y,Y,N,N,Y)
---
Group 8. Terms & Devices
TERMS (TEMI,N,N,Y,N,Y,N)
---
Group 9. Properties
PRESS0 = 1.000000E+05 ;TEMP0 = 2.730000E+02
* Domain material index is 41 signifying:
* dummy fluid
SETPRPS(1, 41)
ENUT = 0.000000E+00
PRNDTL(TEMI) = -3.400000E+00
---
Group 10. Inter-Phase Transfer Processes
---
Group 11. Initialise Var/Porosity Fields
No PATCHes used for this Group
---
INIADD = F
---
Group 12. Convection and diffusion adjustments
No PATCHes used for this Group
---
Group 13. Boundary & Special Sources
```

No PATCHes used for this Group

```
EGWF = T
---
Group 14. Downstream Pressure For PARAB
---
Group 15. Terminate Sweeps
LSWEEP = 200
RESFAC = 1.000000E-03
---
Group 16. Terminate Iterations
---
Group 17. Relaxation
---
Group 18. Limits
VARMAX(U1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(U1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(V1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(V1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(W1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(W1 ) =-
1.000000E+06
---
Group 19. EARTH Calls To GROUND Station
USEGRD = T ;USEGRX = T
ASAP = T
PARSOL = T
CONWIZ = T
ISG50 = 2
SPEDAT(SET,OUTPUT,TECPLOT,C,YES)
---
Echo InForm settings for Group 19
Inform19Begin
REAL(VHIGT,VLOW,RAIO);
VHIGT=1;
VLOW=0;
RAIO=0.013;
(STORED VOLT IS TEMI)
(STORED OF CAMP AT SENS IS (VHIGT-VOLT)/(RAIO-
RG) with SWPFIN)
(STORED OF AREA AT SENS IS ANORTH with SWPFIN)
(STORED OF QCEL AT SENS IS CAMP*AREA*88.5 with
SWPFIN)
(STORED OF QTOT AT SENS IS SUM(QCEL) with
SWPFIN)
(STORED OF CAPA AT SENS IS QTOT/(VHIGT-VLOW)
with SWPFIN)
(STORED OF W1 IS -(TEMI[&&+1]-TEMI)/DZG) with
SWPFIN)
(STORED OF V1 IS -(TEMI[&&+1&]-TEMI)/(DYG)) with
SWPFIN)
Inform19End
---
Group 20. Preliminary Printout
ECHO = T
---
Group 21. Print-out of Variables
---
Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 1 ;IYMON = 85 ;IZMON = 200
NPRMON = 100000
NPRMNT = 1
TSTSWP = -1
---
```

Group 23.Field Print-Out & Plot Control

NPRINT = 10000

ISWPRF = 1;ISWPRL = 100000

No PATCHes used for this Group

Group 24. Dumps For Restarts

GVIEW(P,-8.988083E-01,-3.745764E-01,-2.276754E-01)

GVIEW(UP,-4.096105E-01,9.026662E-01,1.319624E-01)

> DOM, SIZE, 6.283200E-01, 3.000000E-02, 1.300000E-01

> DOM, MONIT, 3.141600E-01, 1.262640E-02, 1.296770E-01

> DOM, SCALE, 1.000000E+00, 1.000000E+00, 5.000000E-01

> DOM, SNAPSIZE, 1.000000E-02

> GRID, AUTO, T T T

> GRID, MAXCELL, 5.000000E-02, 5.000000E-03, 5.000000E-03

> GRID, RSET_X_1, 1, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Y_1, 87, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Y_2, 13, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Y_3, 40, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Y_4, 27, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Y_5, 27, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Y_6, 7, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Z_1, 80, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Z_2, 3, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Z_3, 3, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Z_4, 3, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Z_5, 20, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Z_6, 3, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Z_7, 3, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Z_8, 3, 1.000000E+00

> GRID, RSET_Z_9, 82, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, GROUNDL

> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02, 0.000000E+00

> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 1.700000E-02, 5.200000E-02

> OBJ, GEOMETRY, polcu7

> OBJ, ROTATION24, 1

> OBJ, TYPE, BLOCKAGE

> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction

> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, NAME, SENS

> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02, 5.800000E-02

> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 2.000000E-03, 1.300000E-02

> OBJ, GEOMETRY, polcu7

> OBJ, ROTATION24, 1

> OBJ, TYPE, BLOCKAGE

> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction

> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, FLUID

> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, SIZE, 6.283197E-01, 1.293484E-02, 1.300000E-01

> OBJ, GEOMETRY, polcub2

> OBJ, ROTATION24, 1

> OBJ, TYPE, BLOCKAGE

> OBJ, COLOR-MODE, USER

> OBJ, COLOR-VAL, 49

> OBJ, MATERIAL, 40, dummy fluid

> OBJ, NAME, SH

> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02, 7.300000E-02

> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 2.000000E-03, 2.000000E-03

> OBJ, GEOMETRY, polcu7

> OBJ, ROTATION24, 1

> OBJ, TYPE, BLOCKAGE

> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction

> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, SL

> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02, 5.400000E-02

> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 2.000000E-03, 2.000000E-03

> OBJ, GEOMETRY, polcu7

> OBJ, ROTATION24, 1

> OBJ, TYPE, BLOCKAGE

> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction

> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, GROUNDH

> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02, 7.700000E-02

> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 1.700000E-02, 5.299999E-02

> OBJ, GEOMETRY, polcu7

> OBJ, ROTATION24, 1

> OBJ, TYPE, BLOCKAGE

> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction

> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, NAME, SSUP

> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 2.100000E-02, 5.650000E-02

> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 4.000000E-03, 1.600000E-02

> OBJ, GEOMETRY, polcu7

> OBJ, ROTATION24, 1

> OBJ, TYPE, BLOCKAGE

> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction

> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, GROUND SU

> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 2.900000E-02, 5.200000E-02

```
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 1.000000E-03, 2.500000E-02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, NAME, FLUID2
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.293484E-02, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 6.283197E-01, 6.516330E-05, 1.300000E-01
> OBJ, GEOMETRY, polcubt2
```

```
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 42, dummy fluid
STOP
</strong></pre></body></html>
```

Tube Cheio RESULT

Information about material properties

Total number of SPEDATs is 93
number of materials specified by SPEDATs is 3
solprp = 100 porprp = 198 vacprp = 199
!!!! The properties file is PROPS
Properties being read from PROPS
Properties have been read from PROPS

Property-related data from gxprutil:
PRPS is stored with initial value =
=-1.000000E+00

Material properties used are...

denst1

visclm

tempr1

speht1

also, other related settings are ...

USEGRX = T

USEGRD = T

>>> End of property-related data <<<

Number of F-array locations available is 10000000
Number used before BFC allowance is 1984101
Number used after BFC allowance is 1984101
biggest cell volume divided by average is 1.963179 at:
ix = 1 iy = 194 iz = 83
xg = 3.141600E-01 yg = 2.892597E-02
zg = 5.366670E-02
smallest cell volume divided by average is 4.9583251E-03 at:
ix = 1 iy = 1 iz = 185
xg = 3.141600E-01 yg = 7.471266E-05
zg = 1.199819E-01
ratio of smallest to biggest is 2.5256614E-03

----- Recommended settings -----

CONWIZ = T activates settings based on
refrho = 1.000000E+00 refvel = 1.000000E+01
reflen = 1.000000E+00 reftemp = 1.000000E+03
rlxdu1 = 5.000000E-01 rlxdv1 = 5.000000E-01
rlxdw1 = 5.000000E-01
Maximum change of TEM1 per sweep = 1000.000
relaxation and min/max values left at
defaults may have been changed

Group 1. Run Title and Number

TEXT(Medidor Impedancia 1 Anel)

IRUNN = 1 ;LIBREF = 0

Group 2. Time dependence

STEADY = T

Group 3. X-Direction Grid Spacing

CARTES = F

NX = 1

XULAST = 6.283200E-01

Group 4. Y-Direction Grid Spacing

NY = 201

YVLAST = 3.000000E-02

YFRAC (1) = 4.980844E-03 ;YFRAC (41) = 2.042146E-01

YFRAC (81) = 4.034483E-01 ;YFRAC (121) = 6.050001E-01

YFRAC (161) = 8.037038E-01 ;YFRAC (201) =

1.000000E+00

Group 5. Z-Direction Grid Spacing

PARAB = F

NZ = 200

ZWLAST = 1.300000E-01

ZFRAC (1) = 5.000000E-03 ;ZFRAC (41) = 2.050000E-01

ZFRAC (81) = 4.051282E-01 ;ZFRAC (121) = 6.072233E-01

ZFRAC (161) = 8.060976E-01

Group 6. Body-Fitted Coordinates

Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED

ONEPHS = T

NAME(3) =U1 ;NAME(5) =V1

NAME(7) =W1 ;NAME(143) =PRPS

NAME(144) =CAPA ;NAME(145) =QTOT

NAME(146) =AREA ;NAME(147) =QCEL

NAME(148) =CAMP ;NAME(149) =VOLT

NAME(150) =TEM1

* Y in SOLUTN argument list denotes:

* 1-stored 2-solved 3-whole-field

* 4-point-by-point 5-explicit 6-harmonic averaging

SOLUTN(U1 ,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(V1 ,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(W1 ,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(PRPS,Y,N,N,N,N,N)

SOLUTN(CAPA,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(QTOT,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(AREA,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(QCEL,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(CAMP,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(VOLT,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(TEM1,Y,Y,N,N,N,Y)

PRPS = 143

Group 8. Terms & Devices

* Y in TERMS argument list denotes:

* 1-built-in source 2-convection 3-diffusion 4-transient

* 5-first phase variable 6-interphase transport

TERMS (TEM1,N,N,Y,N,Y,N)

DIFCUT = 5.000000E-01 ;ZDIFAC = 1.000000E+00

GALA = F ;ADDDIF = T

ISOLX = 0 ;ISOLY = -1 ;ISOLZ = -1

Group 9. Properties used if PRPS is not

stored, and where PRPS = -1.0 if it is!

RHO1 = 1.000000E+00 ;TMP1 = 0.000000E+00

EL1 = 0.000000E+00

TSURR = 0.000000E+00 ;TEMP0 = 2.730000E+02

PRESS0 = 1.000000E+05

DVO1DT = 0.000000E+00 ;DRH1DP = 0.000000E+00

EMISS = 0.000000E+00 ;SCATT = 0.000000E+00
 RADIA = 0.000000E+00 ;RADIB = 0.000000E+00
 ENUL = 1.000000E+00 ;ENUT = 0.000000E+00
 PRNDTL(TEM1) = -3.400000E+00
 PRT (TEM1) = 1.000000E+00
 CP1 = 1.000000E+00 ;CP2 = 1.000000E+00

Group 10. Inter-Phase Transfer Processes

Group 11. Initial field variables (PHIs)

FIINIT(U1) = 1.000000E-10 ;FIINIT(V1) = 1.000000E-10
 FIINIT(W1) = 1.000000E-10 ;FIINIT(PRPS) = -
 1.000000E+00
 FIINIT(CAPA) = 1.000000E-10 ;FIINIT(QTOT) =
 1.000000E-10
 FIINIT(AREA) = 1.000000E-10 ;FIINIT(QCEL) =
 1.000000E-10
 FIINIT(CAMP) = 1.000000E-10 ;FIINIT(VOLT) =
 1.000000E-10
 FIINIT(TEM1) = 1.000000E-10

Parent VR object for this patch is: GROUNDL
 PATCH(OB1 ,INIVAL, 1, 1, 88, 201, 1, 80, 1, 1)
 INIT(OB1 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: SENS
 PATCH(OB2 ,INIVAL, 1, 1, 88, 100, 90, 109, 1, 1)
 INIT(OB2 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: FLUID
 PATCH(OB3 ,INIVAL, 1, 1, 87, 1, 200, 1, 1)
 INIT(OB3 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: SH
 PATCH(OB4 ,INIVAL, 1, 1, 88, 100, 113, 115, 1, 1)
 INIT(OB4 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: SL
 PATCH(OB5 ,INIVAL, 1, 1, 88, 100, 84, 86, 1, 1)
 INIT(OB5 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: GROUNDH
 PATCH(OB6 ,INIVAL, 1, 1, 88, 201, 119, 200, 1, 1)
 INIT(OB6 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: SSUP
 PATCH(OB7 ,INIVAL, 1, 1, 141, 167, 87, 112, 1, 1)
 INIT(OB7 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: GROUND SU
 PATCH(OB8 ,INIVAL, 1, 1, 195, 201, 81, 118, 1, 1)
 INIT(OB8 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: FLUID2
 PATCH(OB9 ,INIVAL, 1, 1, 87, 87, 1, 200, 1, 1)
 INIT(OB9 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.200000E+01)
 INIADD = F
 FSWEEP = 1
 NAMFI =CHAM

Group 12. Patchwise adjustment of terms
 Patches for this group are printed with those
 for Group 13.

Their names begin either with GP12 or &

Group 13. Boundary & Special Sources

Parent VR object for this patch is: GROUNDL
 PATCH(OB1_S ,NWALL, 1, 1, 87, 87, 1, 80, 1, 1)
 COVAL(OB1_S ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB1_S ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB1_S ,TEM1, 1.000000E+00, 0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDL
 PATCH(OB1_H ,LWALL, 1, 1, 88, 201, 81, 81, 1, 1)
 COVAL(OB1_H ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB1_H ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB1_H ,TEM1, 1.000000E+00, 0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
 PATCH(OB2_S ,NWALL, 1, 1, 87, 87, 90, 109, 1, 1)
 COVAL(OB2_S ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB2_S ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB2_S ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
 PATCH(OB2_N ,SWALL, 1, 1, 101, 101, 90, 109, 1, 1)
 COVAL(OB2_N ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB2_N ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB2_N ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
 PATCH(OB2_L ,HWALL, 1, 1, 88, 100, 89, 89, 1, 1)
 COVAL(OB2_L ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB2_L ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB2_L ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
 PATCH(OB2_H ,LWALL, 1, 1, 88, 100, 110, 110, 1, 1)
 COVAL(OB2_H ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB2_H ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB2_H ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
 PATCH(OB4_S ,NWALL, 1, 1, 87, 87, 113, 115, 1, 1)
 COVAL(OB4_S ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB4_S ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB4_S ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
 PATCH(OB4_N ,SWALL, 1, 1, 101, 101, 113, 115, 1, 1)
 COVAL(OB4_N ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB4_N ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB4_N ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
 PATCH(OB4_L ,HWALL, 1, 1, 88, 100, 112, 112, 1, 1)
 COVAL(OB4_L ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB4_L ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB4_L ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
 PATCH(OB4_H ,LWALL, 1, 1, 88, 100, 116, 116, 1, 1)
 COVAL(OB4_H ,U1 , 1.000000E+00, SAME)

COVAL(OB4_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_H ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB5_S ,NWALL , 1, 1, 87, 87, 84, 86, 1, 1)
COVAL(OB5_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_S ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB5_N ,SWALL , 1, 1, 101, 101, 84, 86, 1, 1)
COVAL(OB5_N ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_N ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_N ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB5_L ,HWALL , 1, 1, 88, 100, 83, 83, 1, 1)
COVAL(OB5_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_L ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB5_H ,LWALL , 1, 1, 88, 100, 87, 87, 1, 1)
COVAL(OB5_H ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_H ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDH
PATCH(OB6_S ,NWALL , 1, 1, 87, 87, 119, 200, 1, 1)
COVAL(OB6_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_S ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDH
PATCH(OB6_L ,HWALL , 1, 1, 88, 201, 118, 118, 1, 1)
COVAL(OB6_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_L ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
PATCH(OB7_S ,NWALL , 1, 1, 140, 140, 87, 112, 1, 1)
COVAL(OB7_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_S ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
PATCH(OB7_N ,SWALL , 1, 1, 168, 168, 87, 112, 1, 1)
COVAL(OB7_N ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_N ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_N ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
PATCH(OB7_L ,HWALL , 1, 1, 141, 167, 86, 86, 1, 1)
COVAL(OB7_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_L ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP

PATCH(OB7_H ,LWALL , 1, 1, 141, 167, 113, 113, 1, 1)
COVAL(OB7_H ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_H ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDSU
PATCH(OB8_S ,NWALL , 1, 1, 194, 194, 81, 118, 1, 1)
COVAL(OB8_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB8_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB8_S ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDSU
PATCH(OB8_L ,HWALL , 1, 1, 195, 201, 80, 80, 1, 1)
COVAL(OB8_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB8_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB8_L ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDSU
PATCH(OB8_H ,LWALL , 1, 1, 195, 201, 119, 119, 1, 1)
COVAL(OB8_H ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB8_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB8_H ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: FLUID
PATCH(OC3 ,VOLUME, 1, 1, 1, 87, 1, 200, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: FLUID2
PATCH(OC9 ,VOLUME, 1, 1, 87, 87, 1, 200, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: SENS
PATCH(INF2 ,VOLUME, 1, 1, 88, 100, 90, 109, 1, 1)
COVAL(INF2 ,CAPA,0.000000E+00,0.000000E+00)
COVAL(INF2 ,QTOT,0.000000E+00,0.000000E+00)
COVAL(INF2 ,AREA,0.000000E+00,0.000000E+00)
COVAL(INF2 ,QCEL,0.000000E+00,0.000000E+00)
COVAL(INF2 ,CAMP,0.000000E+00,0.000000E+00)
XCYCLE = F
EGWF = F

Group 14. Downstream Pressure For PARAB

Group 15. Terminate Sweeps
LSWEEP = 200 ;ISWC1 = 1
LITHYD = 1 ;LITFLX = 1 ;LITC = 1 ;ITHC1 = 1
SELREF = T
RESFAC = 1.000000E-03

Group 16. Terminate Iterations
LITER (TEM1) = 20
ENDIT (TEM1) = 1.000000E-03

Group 17. Relaxation
RELAX(U1 ,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(V1 ,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(W1 ,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(PRPS,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(CAPA,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(QTOT,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(AREA,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(QCEL,LINRLX,1.000000E+00)

```

RELAX(CAMP,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(VOLT,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(TEM1,LINRLX, 2.500000E-01)
OVRRLX = 0.000000E+00
EXPERT = F ;NNORSL = F
---
Group 18. Limits
VARMAX(U1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(U1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(V1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(V1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(W1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(W1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(PRPS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(PRPS) =-
1.000000E+10
VARMAX(CAPA) = 1.000000E+10 ;VARMIN(CAPA) =-
1.000000E+10
VARMAX(QTOT) = 1.000000E+10 ;VARMIN(QTOT) =-
1.000000E+10
VARMAX(AREA) = 1.000000E+10 ;VARMIN(AREA) =-
1.000000E+10
VARMAX(QCEL) = 1.000000E+10 ;VARMIN(QCEL) =-
1.000000E+10
VARMAX(CAMP) = 1.000000E+10 ;VARMIN(CAMP) =-
1.000000E+10
VARMAX(VOLT) = 1.000000E+10 ;VARMIN(VOLT) =-
1.000000E+10
VARMAX(TEM1) = 1.000000E+10 ;VARMIN(TEM1) =-
1.000000E+10
---
Group 19. Data transmitted to GROUND
USEGRD = T ;USEGRX = T
PARSOL = F
CONWIZ = T
ISG50 = 2
SPEDAT(SET,DOMAIN,PHASE_1_MAT,I,41)
SPEDAT(SET,OUTPUT,TECPLOT,C,YES)
SPEDAT(SET,STORED,VOLT,C,=TEM1!ZSLFIN)
SPEDAT(SET,STORED,CAMP!SENS,C,=(1-
VOLT)/(0.013000-RG)!SWPFIN)

SPEDAT(SET,STORED,AREA!SENS,C,=ANORTH!SWPFIN
)

SPEDAT(SET,STORED,QCEL!SENS,C,=CAMP*AREA*88.5
!SWPFIN)

SPEDAT(SET,STORED,QTOT!SENS,C,=SUM(QCEL)!SWP
FIN)
SPEDAT(SET,STORED,CAPA!SENS,C,=QTOT/(1-
0)!SWPFIN)
SPEDAT(SET,STORED,W1,C,=(-(TEM1[&&+1]-
TEM1)/DZG)!SWPFIN)
SPEDAT(SET,STORED,V1,C,=(-(TEM1[&+1]-
TEM1)/(DYG))!SWPFIN)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1,C,GROUNDL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,GROUNDL,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1_S,C,GROUNDL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1_H,C,GROUNDL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SENS,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_S,C,SENS)

```

```

SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_N,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_L,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_H,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB3,C,FLUID)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB3,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,FLUID,MATERIAL,R,4.00000E+01)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC3,C,FLUID)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC3,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SH,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_S,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_N,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_L,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_H,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SL,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5_S,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5_N,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5_L,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5_H,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6,C,GROUNDH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,GROUNDH,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6_S,C,GROUNDH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6_L,C,GROUNDH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SSUP,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_S,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_N,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_L,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_H,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,GROUNDSU,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8_S,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8_L,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8_H,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB9,C,FLUID2)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB9,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,FLUID2,MATERIAL,R,4.20000E+01)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC9,C,FLUID2)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC9,C,BLOCKAGE)

```

```

SPEDAT(SET,FACETDAT,NUMOBJ,I,9)
SPEDAT(SET,OBJNAM,INF2,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,INF2,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,MATERIAL,198,L,T)
SPEDAT(SET,MATERIAL,40,L,T)
SPEDAT(SET,MATERIAL,42,L,T)
---
Group 20. Preliminary Printout
ECHO = T
---
Group 21. Print-out of Variables
INIFLD = F ;SUBWGR = F
* Y in OUTPUT argument list denotes:
* 1-field 2-correction-eq. monitor 3-selective dumping
* 4-whole-field residual 5-spot-value table 6-residual table
OUTPUT(U1 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(V1 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(W1 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(PRPS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(CAPA,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(QTOT,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(AREA,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(QCEL,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(CAMP,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(VOLT,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(TEM1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
---
Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 1 ;IYMON = 85 ;IZMON = 200
NPRMON = 100000 ;NPRMNT = 1 ;TSTSWP =
10001
UWATCH = F ;USTEER = F
HIGHLO = F
---
Group 23.Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 200 ;NUMCLS = 5
NYPRIN = 40 ;IYPRF = 1 ;IYPRL = 201
NZPRIN = 40 ;IZPRF = 1 ;IZPRL = 10000
XZPR = F ;YZPR = T
IPLTF = 1 ;IPLTL = 200 ;NPLT = 10
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
ITABL = 3 ;IPROF = 1
ABSIZ = 5.000000E-01 ;ORSIZ = 4.000000E-01
NTZPRF = 1 ;NCOLPF = 50
ICHR = 2 ;NCOLCO = 45 ;NROWCO = 20
No PATCHes yet used for this Group
---
Group 24. Dumps For Restarts
SAVE = T ;NOWIPE = F
NSAVE =CHAM

*** grid-geometry information ***
X-coordinates of the cell centres
3.142E-01
Y-coordinates of the cell centres
7.471E-05 2.241E-04 3.736E-04 5.230E-04 6.724E-04
8.218E-04 9.713E-04 1.121E-03 1.270E-03 1.420E-03
1.569E-03 1.718E-03 1.868E-03 2.017E-03 2.167E-03
2.316E-03 2.466E-03 2.615E-03 2.764E-03 2.914E-03
3.063E-03 3.213E-03 3.362E-03 3.511E-03 3.661E-03
3.810E-03 3.960E-03 4.109E-03 4.259E-03 4.408E-03
4.557E-03 4.707E-03 4.856E-03 5.006E-03 5.155E-03
5.305E-03 5.454E-03 5.603E-03 5.753E-03 5.902E-03
6.052E-03 6.201E-03 6.351E-03 6.500E-03 6.649E-03
6.799E-03 6.948E-03 7.098E-03 7.247E-03 7.397E-03
7.546E-03 7.695E-03 7.845E-03 7.994E-03 8.144E-03
8.293E-03 8.443E-03 8.592E-03 8.741E-03 8.891E-03
9.040E-03 9.190E-03 9.339E-03 9.489E-03 9.638E-03
9.787E-03 9.937E-03 1.009E-02 1.024E-02 1.039E-02
1.053E-02 1.068E-02 1.083E-02 1.098E-02 1.113E-02
1.128E-02 1.143E-02 1.158E-02 1.173E-02 1.188E-02
1.203E-02 1.218E-02 1.233E-02 1.248E-02 1.263E-02
1.278E-02 1.293E-02 1.308E-02 1.323E-02 1.338E-02
1.354E-02 1.369E-02 1.385E-02 1.400E-02 1.415E-02
1.431E-02 1.446E-02 1.462E-02 1.477E-02 1.492E-02
1.508E-02 1.523E-02 1.538E-02 1.553E-02 1.568E-02
1.583E-02 1.598E-02 1.613E-02 1.628E-02 1.643E-02
1.658E-02 1.673E-02 1.688E-02 1.703E-02 1.718E-02
1.733E-02 1.748E-02 1.763E-02 1.778E-02 1.793E-02
1.808E-02 1.823E-02 1.838E-02 1.853E-02 1.868E-02
1.883E-02 1.898E-02 1.913E-02 1.928E-02 1.943E-02
1.958E-02 1.973E-02 1.988E-02 2.003E-02 2.018E-02
2.033E-02 2.048E-02 2.063E-02 2.078E-02 2.093E-02
2.107E-02 2.122E-02 2.137E-02 2.152E-02 2.167E-02
2.181E-02 2.196E-02 2.211E-02 2.226E-02 2.241E-02
2.256E-02 2.270E-02 2.285E-02 2.300E-02 2.315E-02
2.330E-02 2.344E-02 2.359E-02 2.374E-02 2.389E-02
2.404E-02 2.419E-02 2.433E-02 2.448E-02 2.463E-02
2.478E-02 2.493E-02 2.507E-02 2.522E-02 2.537E-02
2.552E-02 2.567E-02 2.581E-02 2.596E-02 2.611E-02
2.626E-02 2.641E-02 2.656E-02 2.670E-02 2.685E-02
2.700E-02 2.715E-02 2.730E-02 2.744E-02 2.759E-02
2.774E-02 2.789E-02 2.804E-02 2.819E-02 2.833E-02
2.848E-02 2.863E-02 2.878E-02 2.893E-02 2.907E-02
2.921E-02 2.936E-02 2.950E-02 2.964E-02 2.979E-02
2.993E-02
Z-coordinates of the cell centres
3.250E-04 9.750E-04 1.625E-03 2.275E-03 2.925E-03
3.575E-03 4.225E-03 4.875E-03 5.525E-03 6.175E-03
6.825E-03 7.475E-03 8.125E-03 8.775E-03 9.425E-03
1.008E-02 1.073E-02 1.137E-02 1.203E-02 1.268E-02
1.333E-02 1.398E-02 1.463E-02 1.528E-02 1.593E-02
1.658E-02 1.723E-02 1.788E-02 1.853E-02 1.918E-02
1.983E-02 2.048E-02 2.113E-02 2.178E-02 2.243E-02
2.308E-02 2.373E-02 2.438E-02 2.503E-02 2.568E-02
2.633E-02 2.698E-02 2.763E-02 2.828E-02 2.893E-02
2.958E-02 3.023E-02 3.088E-02 3.153E-02 3.218E-02
3.283E-02 3.348E-02 3.413E-02 3.478E-02 3.543E-02
3.608E-02 3.673E-02 3.738E-02 3.803E-02 3.868E-02
3.933E-02 3.998E-02 4.063E-02 4.128E-02 4.193E-02
4.258E-02 4.323E-02 4.388E-02 4.453E-02 4.518E-02
4.583E-02 4.648E-02 4.713E-02 4.778E-02 4.843E-02
4.908E-02 4.973E-02 5.038E-02 5.103E-02 5.168E-02
5.233E-02 5.300E-02 5.367E-02 5.433E-02 5.500E-02
5.567E-02 5.633E-02 5.700E-02 5.767E-02 5.833E-02
5.898E-02 5.963E-02 6.028E-02 6.093E-02 6.158E-02
6.223E-02 6.288E-02 6.353E-02 6.418E-02 6.483E-02
6.548E-02 6.613E-02 6.678E-02 6.743E-02 6.808E-02
6.873E-02 6.938E-02 7.003E-02 7.067E-02 7.133E-02
7.200E-02 7.267E-02 7.333E-02 7.400E-02 7.467E-02
7.533E-02 7.600E-02 7.667E-02 7.732E-02 7.797E-02
7.862E-02 7.926E-02 7.991E-02 8.055E-02 8.120E-02
8.185E-02 8.249E-02 8.314E-02 8.379E-02 8.443E-02
8.508E-02 8.573E-02 8.637E-02 8.702E-02 8.766E-02
8.831E-02 8.896E-02 8.960E-02 9.025E-02 9.090E-02
9.154E-02 9.219E-02 9.284E-02 9.348E-02 9.413E-02
9.477E-02 9.542E-02 9.607E-02 9.671E-02 9.736E-02
9.801E-02 9.865E-02 9.930E-02 9.995E-02 1.006E-01
1.012E-01 1.019E-01 1.025E-01 1.032E-01 1.038E-01
1.045E-01 1.051E-01 1.058E-01 1.064E-01 1.071E-01
1.077E-01 1.083E-01 1.090E-01 1.096E-01 1.103E-01
1.109E-01 1.116E-01 1.122E-01 1.129E-01 1.135E-01

```

1.142E-01 1.148E-01 1.155E-01 1.161E-01 1.168E-01
 1.174E-01 1.180E-01 1.187E-01 1.193E-01 1.200E-01
 1.206E-01 1.213E-01 1.219E-01 1.226E-01 1.232E-01
 1.239E-01 1.245E-01 1.252E-01 1.258E-01 1.264E-01
 1.271E-01 1.277E-01 1.284E-01 1.290E-01 1.297E-01

X-coordinates of the (higher) cell faces
 6.283E-01

Y-coordinates of the (higher) cell faces

1.494E-04 2.989E-04 4.483E-04 5.977E-04 7.471E-04
 8.966E-04 1.046E-03 1.195E-03 1.345E-03 1.494E-03
 1.644E-03 1.793E-03 1.943E-03 2.092E-03 2.241E-03
 2.391E-03 2.540E-03 2.690E-03 2.839E-03 2.989E-03
 3.138E-03 3.287E-03 3.437E-03 3.586E-03 3.736E-03
 3.885E-03 4.034E-03 4.184E-03 4.333E-03 4.483E-03
 4.632E-03 4.782E-03 4.931E-03 5.080E-03 5.230E-03
 5.379E-03 5.529E-03 5.678E-03 5.828E-03 5.977E-03
 6.126E-03 6.276E-03 6.425E-03 6.575E-03 6.724E-03
 6.874E-03 7.023E-03 7.172E-03 7.322E-03 7.471E-03
 7.621E-03 7.770E-03 7.920E-03 8.069E-03 8.218E-03
 8.368E-03 8.517E-03 8.667E-03 8.816E-03 8.966E-03
 9.115E-03 9.264E-03 9.414E-03 9.563E-03 9.713E-03
 9.862E-03 1.001E-02 1.016E-02 1.031E-02 1.046E-02
 1.061E-02 1.076E-02 1.091E-02 1.106E-02 1.121E-02
 1.136E-02 1.151E-02 1.166E-02 1.180E-02 1.195E-02
 1.210E-02 1.225E-02 1.240E-02 1.255E-02 1.270E-02
 1.285E-02 1.300E-02 1.315E-02 1.331E-02 1.346E-02
 1.362E-02 1.377E-02 1.392E-02 1.408E-02 1.423E-02
 1.438E-02 1.454E-02 1.469E-02 1.485E-02 1.500E-02
 1.515E-02 1.530E-02 1.545E-02 1.560E-02 1.575E-02
 1.590E-02 1.605E-02 1.620E-02 1.635E-02 1.650E-02
 1.665E-02 1.680E-02 1.695E-02 1.710E-02 1.725E-02
 1.740E-02 1.755E-02 1.770E-02 1.785E-02 1.800E-02
 1.815E-02 1.830E-02 1.845E-02 1.860E-02 1.875E-02
 1.890E-02 1.905E-02 1.920E-02 1.935E-02 1.950E-02
 1.965E-02 1.980E-02 1.995E-02 2.010E-02 2.025E-02
 2.040E-02 2.055E-02 2.070E-02 2.085E-02 2.100E-02
 2.115E-02 2.130E-02 2.144E-02 2.159E-02 2.174E-02
 2.189E-02 2.204E-02 2.219E-02 2.233E-02 2.248E-02
 2.263E-02 2.278E-02 2.293E-02 2.307E-02 2.322E-02
 2.337E-02 2.352E-02 2.367E-02 2.381E-02 2.396E-02
 2.411E-02 2.426E-02 2.441E-02 2.456E-02 2.470E-02
 2.485E-02 2.500E-02 2.515E-02 2.530E-02 2.544E-02
 2.559E-02 2.574E-02 2.589E-02 2.604E-02 2.619E-02
 2.633E-02 2.648E-02 2.663E-02 2.678E-02 2.693E-02
 2.707E-02 2.722E-02 2.737E-02 2.752E-02 2.767E-02
 2.781E-02 2.796E-02 2.811E-02 2.826E-02 2.841E-02
 2.856E-02 2.870E-02 2.885E-02 2.900E-02 2.914E-02
 2.929E-02 2.943E-02 2.957E-02 2.971E-02 2.986E-02
 3.000E-02

Z-coordinates of the (higher) cell faces

6.500E-04 1.300E-03 1.950E-03 2.600E-03 3.250E-03
 3.900E-03 4.550E-03 5.200E-03 5.850E-03 6.500E-03
 7.150E-03 7.800E-03 8.450E-03 9.100E-03 9.750E-03
 1.040E-02 1.105E-02 1.170E-02 1.235E-02 1.300E-02
 1.365E-02 1.430E-02 1.495E-02 1.560E-02 1.625E-02
 1.690E-02 1.755E-02 1.820E-02 1.885E-02 1.950E-02
 2.015E-02 2.080E-02 2.145E-02 2.210E-02 2.275E-02
 2.340E-02 2.405E-02 2.470E-02 2.535E-02 2.600E-02
 2.665E-02 2.730E-02 2.795E-02 2.860E-02 2.925E-02
 2.990E-02 3.055E-02 3.120E-02 3.185E-02 3.250E-02
 3.315E-02 3.380E-02 3.445E-02 3.510E-02 3.575E-02
 3.640E-02 3.705E-02 3.770E-02 3.835E-02 3.900E-02
 3.965E-02 4.030E-02 4.095E-02 4.160E-02 4.225E-02
 4.290E-02 4.355E-02 4.420E-02 4.485E-02 4.550E-02
 4.615E-02 4.680E-02 4.745E-02 4.810E-02 4.875E-02

4.940E-02 5.005E-02 5.070E-02 5.135E-02 5.200E-02
 5.267E-02 5.333E-02 5.400E-02 5.467E-02 5.533E-02
 5.600E-02 5.667E-02 5.733E-02 5.800E-02 5.866E-02
 5.930E-02 5.995E-02 6.060E-02 6.125E-02 6.190E-02
 6.255E-02 6.320E-02 6.385E-02 6.450E-02 6.515E-02
 6.580E-02 6.645E-02 6.710E-02 6.775E-02 6.840E-02
 6.905E-02 6.970E-02 7.035E-02 7.100E-02 7.167E-02
 7.233E-02 7.300E-02 7.367E-02 7.433E-02 7.500E-02
 7.567E-02 7.633E-02 7.700E-02 7.765E-02 7.829E-02
 7.894E-02 7.959E-02 8.023E-02 8.088E-02 8.152E-02
 8.217E-02 8.282E-02 8.346E-02 8.411E-02 8.476E-02
 8.540E-02 8.605E-02 8.670E-02 8.734E-02 8.799E-02
 8.863E-02 8.928E-02 8.993E-02 9.057E-02 9.122E-02
 9.187E-02 9.251E-02 9.316E-02 9.380E-02 9.445E-02
 9.510E-02 9.574E-02 9.639E-02 9.704E-02 9.768E-02
 9.833E-02 9.898E-02 9.962E-02 1.003E-01 1.009E-01
 1.016E-01 1.022E-01 1.029E-01 1.035E-01 1.041E-01
 1.048E-01 1.054E-01 1.061E-01 1.067E-01 1.074E-01
 1.080E-01 1.087E-01 1.093E-01 1.100E-01 1.106E-01
 1.113E-01 1.119E-01 1.125E-01 1.132E-01 1.138E-01
 1.145E-01 1.151E-01 1.158E-01 1.164E-01 1.171E-01
 1.177E-01 1.184E-01 1.190E-01 1.197E-01 1.203E-01
 1.210E-01 1.216E-01 1.222E-01 1.229E-01 1.235E-01
 1.242E-01 1.248E-01 1.255E-01 1.261E-01 1.268E-01
 1.274E-01 1.281E-01 1.287E-01 1.294E-01 1.300E-01

--- INTEGRATION OF EQUATIONS BEGINS ---

Flow field at ITHYD= 1, ISWEEP= 200, ISTEP= 1
 YZPR IX= 1 isweep = 200 istep = 1

Field Values of U1

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 0.0 none none
 IY= 121 none none 0.0 none none
 IY= 81 1.000E-10 0.0 0.0 0.0 0.0
 IY= 41 1.000E-10 0.0 0.0 0.0 0.0
 IY= 1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of V1

IY= 200 none none none none none
 IY= 160 none none 7.403E+00 none none
 IY= 120 none none 7.021E+00 none none
 IY= 80 9.963E-03 5.611E-01 8.549E+01 9.741E+01
 4.015E-01
 IY= 40 8.605E-03 4.827E-01 2.844E+00 1.147E+01
 3.460E-01
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of W1

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none -2.066E+02 none none
 IY= 121 none none -2.262E+02 none none
 IY= 81 -1.628E-04 -9.048E-02 -2.555E+02 3.434E+01
 5.720E-02
 IY= 41 -1.388E-03 -7.600E-01 -6.306E+01 5.296E+01
 4.812E-01
 IY= 1 -1.995E-03 -1.075E+00 -4.923E+01 4.535E+01
 6.816E-01
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of PRPS

IY= 201 blockage blockage blockage blockage
 blockage

IY= 161 blockage blockage pil prop blockage
 blockage
 IY= 121 blockage blockage pil prop blockage
 blockage
 IY= 81 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01
 4.000E+01
 IY= 41 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01
 4.000E+01
 IY= 1 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01
 4.000E+01
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of CAPA

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 1.000E-10 none none
 IY= 121 none none 1.000E-10 none none
 IY= 81 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 41 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 1 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of QTOT

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 1.000E-10 none none
 IY= 121 none none 1.000E-10 none none
 IY= 81 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 41 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 1 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of AREA

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 1.000E-10 none none
 IY= 121 none none 1.000E-10 none none
 IY= 81 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 41 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 1 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of QCEL

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 1.000E-10 none none
 IY= 121 none none 1.000E-10 none none
 IY= 81 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 41 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 1 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of CAMP

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 1.000E-10 none none
 IY= 121 none none 1.000E-10 none none
 IY= 81 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10

IY= 41 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 1 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of VOLT

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 6.783E-02 none none
 IY= 121 none none 7.678E-02 none none
 IY= 81 8.090E-06 4.556E-04 3.250E-01 9.013E-02
 3.260E-04
 IY= 41 6.819E-05 3.835E-03 4.485E-01 3.326E-01
 2.746E-03
 IY= 1 9.670E-05 5.434E-03 4.547E-01 3.611E-01
 3.893E-03
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of TEM1

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 6.783E-02 none none
 IY= 121 none none 7.678E-02 none none
 IY= 81 8.090E-06 4.556E-04 3.250E-01 9.013E-02
 3.260E-04
 IY= 41 6.819E-05 3.835E-03 4.485E-01 3.326E-01
 2.746E-03
 IY= 1 9.670E-05 5.434E-03 4.547E-01 3.611E-01
 3.893E-03
 IZ= 1 41 81 121 161

Whole-field residuals before solution
 with resref values determined by EARTH
 & resfac= 1.000000E-03
 variable resref (res sum)/resref (res sum)
 TEM1 3.099E-07 8.190E+01 2.538E-05

Sources and sinks
 pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum= 0.000000E+00
 nett sum= 0.000000E+00

Nett source of TEM1 at patch named: OB1_S (GROUNDL)
 =-9.648059E-03

Nett source of TEM1 at patch named: OB1_H (GROUNDL)
 =-1.506108E-01

Nett source of TEM1 at patch named: OB2_S (SENS)=
 3.303845E-03

Nett source of TEM1 at patch named: OB2_N (SENS)=
 7.876108E-03

Nett source of TEM1 at patch named: OB2_L (SENS)=
 1.723606E-03

Nett source of TEM1 at patch named: OB2_H (SENS)=
 1.723640E-03

Nett source of TEM1 at patch named: OB4_S (SH)=
 7.524699E-03

Nett source of TEM1 at patch named: OB4_N (SH)=
 2.057209E-02

Nett source of TEM1 at patch named: OB4_L (SH)=
 2.214292E-03

Nett source of TEM1 at patch named: OB4_H (SH)=
 3.675007E-02

Nett source of TEM1 at patch named: OB5_S (SL)=
 7.523846E-03

Nett source of TEM1 at patch named: OB5_N (SL)=
 2.057192E-02

Nett source of TEM1 at patch named: OB5_L (SL) = 3.674814E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB5_H (SL) = 2.214236E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB6_S (GROUNDH) = -9.656118E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB6_L (GROUNDH) = -1.506065E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB7_S (SSUP) = 3.450296E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB7_N (SSUP) = 2.742879E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB7_L (SSUP) = 6.912770E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB7_H (SSUP) = 6.912805E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB8_S (GROUNDH) = -2.752696E-01
 pos. sum= 5.957931E-01 neg. sum=-5.957911E-01
 nett sum= 1.966953E-06

 spot values vs sweep or iteration number
 IXMON= 1 IYMON= 85 IZMON= 200
 TIMESTEP= 1

Tabulation of abscissa and ordinates...

ISWP	TEM1
1	1.000E-10
11	4.049E-03
21	2.516E-03
31	1.511E-03
41	9.251E-04
51	5.716E-04
61	3.544E-04
71	2.202E-04
81	1.370E-04
91	8.545E-05
101	5.348E-05
111	3.366E-05
121	2.139E-05
131	1.379E-05
141	9.096E-06

151	6.195E-06
161	4.405E-06
171	3.303E-06
181	2.624E-06
191	2.206E-06
Variable 1 = TEM1	
Minval= 1.000E-10	
Maxval= 4.049E-03	
Cellav= 5.260E-04	

 residuals vs sweep or iteration number

Tabulation of abscissa and ordinates...

ISWP	TEM1
1	5.053E+09
11	7.144E+06
21	5.501E+05
31	5.743E+04
41	1.816E+04
51	9.953E+03
61	5.921E+03
71	3.577E+03
81	2.169E+03
91	1.326E+03
101	8.220E+02
111	5.186E+02
121	3.383E+02
131	2.293E+02
141	1.649E+02
151	1.271E+02
161	1.057E+02
171	9.384E+01
181	8.627E+01
191	8.401E+01

Variable 1 = TEM1
 Minval= 4.431E+00
 Maxval= 2.234E+01

the abscissa is ISWP. min= 1.00E+00 max= 1.91E+02

Tubo Padrão Anular 90%

Para o tubo padrão anular com 90% de fração de vazio temos a seguinte montagem no software Phoenix, conforme a Figura 44.



Figura 44 – Montagem Phoenix para o tubo padrão anular com 90

Tubo Padrão Anular 90% Q1

```

Q1 created by VDI menu, Version 3.6, Date 11/05/06
CPVNAM=VDI;SPPNAM=Core
---
Echo DISPLAY / USE settings
---
IRUNN = 1 ;LIBREF = 0
---
Group 1. Run Title
TEXT(Medidor Impedancia 1 Anel )
---
Group 2. Transience
STEADY = T
---
Groups 3, 4, 5 Grid Information
* Overall number of cells, RSET(M,NX,NY,NZ,tolerance)
RSET(M,1,201,200)
* Cylindrical-polar grid
CARTES=F
---
Group 6. Body-Fitted coordinates
---
Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED
ONEPHS = T
* Non-default variable names
NAME(144) =CAPA ; NAME(145) =QTOT
NAME(146) =AREA ; NAME(147) =QCEL
NAME(148) =CAMP ; NAME(149) =VOLT
NAME(150) =TEM1
* Solved variables list
SOLVE(TEM1)
* Stored variables list
STORE(VOLT,CAMP,QCEL,AREA,QTOT,CAPA,W1 ,V1 )

```

```

STORE(U1 )
* Additional solver options
SOLUTN(TEM1,Y,Y,Y,N,N,Y)
---
Group 8. Terms & Devices
TERMS (TEM1,N,N,Y,N,Y,N)
---
Group 9. Properties
PRESS0 = 1.000000E+05 ;TEMP0 = 2.730000E+02
* Domain material index is 41 signifying:
* dummy fluid
SETPRPS(1, 41)
ENUT = 0.000000E+00
PRNDTL(TEM1) = -3.400000E+00
---
Group 10. Inter-Phase Transfer Processes
---
Group 11. Initialise Var/Porosity Fields
No PATCHes used for this Group
---
INIADD = F
---
Group 12. Convection and diffusion adjustments
No PATCHes used for this Group
---
Group 13. Boundary & Special Sources
No PATCHes used for this Group
---
EGWF = T
---
Group 14. Downstream Pressure For PARAB
---
Group 15. Terminate Sweeps
LSWEEP = 200
RESFAC = 1.000000E-03
---
Group 16. Terminate Iterations
---

```

```

Group 17. Relaxation
---
Group 18. Limits
VARMAX(U1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(U1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(V1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(V1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(W1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(W1 ) =-
1.000000E+06
---
Group 19. EARTH Calls To GROUND Station
USEGRD = T ;USEGRX = T
ASAP = T
PARSOL = T
CONWIZ = T
ISG50 = 2
SPEDAT(SET,OUTPUT,TECPLOT,C,YES)
---
Echo InForm settings for Group 19
Inform19Begin
REAL(VHIGT,VLOW,RAIO);
VHIGT=1;
VLOW=0;
RAIO=0.013;
(STORED VOLT IS TEM1)
(STORED OF CAMP AT SENS IS (VHIGT-VOLT)/(RAIO-
RG) with SWPFIN)
(STORED OF AREA AT SENS IS ANORTH with SWPFIN)
(STORED OF QCEL AT SENS IS CAMP*AREA*88.5 with
SWPFIN)
(STORED OF QTOT AT SENS IS SUM(QCEL) with
SWPFIN)
(STORED OF CAPA AT SENS IS QTOT/(VHIGT-VLOW)
with SWPFIN)
(STORED OF W1 IS (-(TEM1[&&+1]-TEM1)/DZG) with
SWPFIN)
(STORED OF V1 IS (-(TEM1[&&+1]-TEM1)/(DYG)) with
SWPFIN)
Inform19End
---
Group 20. Preliminary Printout
ECHO = T
---
Group 21. Print-out of Variables
---
Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 1 ;IYMON = 85 ;IZMON = 200
NPRMON = 100000
NPRMNT = 1
TSTSWP = -1
---
Group 23. Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 100000
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
No PATCHes used for this Group
---
Group 24. Dumps For Restarts

GVIEW(P,-9.768973E-01,2.136338E-01,-5.697105E-03)
GVIEW(UP,2.136292E-01,9.769138E-01,1.408399E-03)

> DOM, SIZE, 6.283200E-01, 3.000000E-02, 1.300000E-
01
> DOM, MONIT, 3.141600E-01, 1.262640E-02,
1.296770E-01

> DOM, SCALE, 1.000000E+00, 1.000000E+00,
5.000000E-01
> DOM, SNAPSIZ, 1.000000E-02
> GRID, AUTO, T T T
> GRID, MAXCELL, 5.000000E-02, 5.000000E-03,
5.000000E-03
> GRID, RSET_X_1, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_1, 87, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_2, 13, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_3, 40, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_4, 27, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_5, 27, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_6, 7, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_1, 80, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_2, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_3, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_4, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_5, 20, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_6, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_7, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_8, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_9, 82, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, GROUNDL
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02,
0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 1.700000E-02, 5.200000E-
02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, NAME, SENS
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02,
5.800000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 2.000000E-03, 1.300000E-
02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, FLUID
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00,
0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 6.283197E-01, 1.233288E-02, 1.300000E-
01
> OBJ, GEOMETRY, polcub2
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, COLOR-MODE, USER
> OBJ, COLOR-VAL, 1
> OBJ, MATERIAL, 40, dummy fluid

> OBJ, NAME, SH
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02,
7.300000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 2.000000E-03, 2.000000E-
03

```

```

> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, SL
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02,
5.400000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 2.000000E-03, 2.000000E-
03
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, GROUNDH
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02,
7.700000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 1.700000E-02, 5.299999E-
02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, NAME, SSUP
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 2.100000E-02,
5.650000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 4.000000E-03, 1.600000E-
02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, GROUND SU
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 2.900000E-02,
5.200000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 1.000000E-03, 2.500000E-
02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, NAME, FLUID2
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.233288E-02,
0.000000E+00

```

```

> OBJ, SIZE, 6.283197E-01, 6.671170E-04, 1.300000E-
01
> OBJ, GEOMETRY, polcubt2
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, COLOR-MODE, USER
> OBJ, COLOR-VAL, 222
> OBJ, MATERIAL, 42, dummy fluid
STOP
</strong></pre></body></html>

```

Tube Padrão Anular 90% RESULT

Information about material properties

```

Total number of SPEDATs is 93
number of materials specified by SPEDATs is 3
solprp = 100 porprp = 198 vacprp = 199
!!!! The properties file is PROPS
Properties being read from PROPS
Properties have been read from PROPS

```

Property-related data from gxprutil:

```

PRPS is stored with initial value =
=-1.000000E+00

```

Material properties used are...

```

dens1
visclm
tempr1
speht1
also, other related settings are ...
USEGRX = T
USEGRD = T

```

```

>>> End of property-related data <<<
---
```

```

Number of F-array locations available is 1000000
Number used before BFC allowance is 1984101
Number used after BFC allowance is 1984101
biggest cell volume divided by average is 1.963179 at:
ix = 1 iy = 194 iz = 83
xg = 3.141600E-01 yg = 2.892597E-02
zg = 5.366670E-02
smallest cell volume divided by average is 4.9583251E-03 at:
ix = 1 iy = 1 iz = 185
xg = 3.141600E-01 yg = 7.471266E-05
zg = 1.199819E-01
ratio of smallest to biggest is 2.5256614E-03
---
```

----- Recommended settings -----

```

CONWIZ = T activates settings based on
refrho = 1.000000E+00 refvel = 1.000000E+01
reflen = 1.000000E+00 reftemp = 1.000000E+03
rlxdw1 = 5.000000E-01 rlxv1 = 5.000000E-01
rlxdw1 = 5.000000E-01
Maximum change of TEM1 per sweep = 1000.000
relaxation and min/max values left at
defaults may have been changed

```

```

---
---
Group 1. Run Title and Number
---
---
TEXT(Medidor Impedancia 1 Anel      )
---
---
IRUNN = 1 ;LIBREF = 0
---
Group 2. Time dependence
STEADY = T
---
Group 3. X-Direction Grid Spacing
CARTES = F
NX = 1
XULAST = 6.283200E-01
---
Group 4. Y-Direction Grid Spacing
NY = 201
YVLAST = 3.000000E-02
YFRAC ( 1) = 4.980844E-03 ;YFRAC ( 41) = 2.042146E-01
YFRAC ( 81) = 4.034483E-01 ;YFRAC (121) = 6.050001E-01
YFRAC (161) = 8.037038E-01 ;YFRAC (201) = 1.000000E+00
---
Group 5. Z-Direction Grid Spacing
PARAB = F
NZ = 200
ZWLAST = 1.300000E-01
ZFRAC ( 1) = 5.000000E-03 ;ZFRAC ( 41) = 2.050000E-01
ZFRAC ( 81) = 4.051282E-01 ;ZFRAC (121) = 6.072233E-01
ZFRAC (161) = 8.060976E-01
---
Group 6. Body-Fitted Coordinates
---
Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED
ONEPHS = T
NAME( 3)=U1 ;NAME( 5)=V1
NAME( 7)=W1 ;NAME(143)=PRPS
NAME(144)=CAPA ;NAME(145)=QTOT
NAME(146)=AREA ;NAME(147)=QCEL
NAME(148)=CAMP ;NAME(149)=VOLT
NAME(150)=TEM1
* Y in SOLUTN argument list denotes:
* 1-stored 2-solved 3-whole-field
* 4-point-by-point 5-explicit 6-harmonic averaging
SOLUTN(U1 ,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(V1 ,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(W1 ,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(PRPS,Y,N,N,N,N,N)
SOLUTN(CAPA,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(QTOT,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(AREA,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(QCEL,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(CAMP,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(VOLT,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(TEM1,Y,Y,Y,N,N,Y)
PRPS = 143
---

```

```

Group 8. Terms & Devices
* Y in TERMS argument list denotes:
* 1-built-in source 2-convection 3-diffusion 4-transient
* 5-first phase variable 6-interphase transport
TERMS (TEM1,N,N,Y,N,Y,N)
DIFCUT = 5.000000E-01 ;ZDIFAC = 1.000000E+00
GALA = F ;ADDIF = T
ISOLX = 0 ;ISOLY = -1 ;ISOLZ = -1
---
Group 9. Properties used if PRPS is not
stored, and where PRPS = -1.0 if it is!
RHO1 = 1.000000E+00 ;TMP1 = 0.000000E+00
EL1 = 0.000000E+00
TSURR = 0.000000E+00 ;TEMP0 = 2.730000E+02
PRESS0 = 1.000000E+05
DVO1DT = 0.000000E+00 ;DRH1DP = 0.000000E+00
EMISS = 0.000000E+00 ;SCATT = 0.000000E+00
RADIA = 0.000000E+00 ;RADIB = 0.000000E+00
ENUL = 1.000000E+00 ;ENUT = 0.000000E+00
PRNDTL(TEM1) = -3.400000E+00
PRT (TEM1) = 1.000000E+00
CP1 = 1.000000E+00 ;CP2 = 1.000000E+00
---
Group 10. Inter-Phase Transfer Processes
---
Group 11. Initial field variables (PHIs)
FIINIT(U1 ) = 1.000000E-10 ;FIINIT(V1 ) = 1.000000E-10
FIINIT(W1 ) = 1.000000E-10 ;FIINIT(PRPS) = -
1.000000E+00
FIINIT(CAPA) = 1.000000E-10 ;FIINIT(QTOT) =
1.000000E-10
FIINIT(AREA) = 1.000000E-10 ;FIINIT(QCEL) =
1.000000E-10
FIINIT(CAMP) = 1.000000E-10 ;FIINIT(VOLT) =
1.000000E-10
FIINIT(TEM1) = 1.000000E-10

Parent VR object for this patch is: GROUNDL
PATCH(OB1 ,INIVAL, 1, 1, 88, 201, 1, 80, 1, 1)
INIT(OB1 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: SENS
PATCH(OB2 ,INIVAL, 1, 1, 88, 100, 90, 109, 1, 1)
INIT(OB2 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: FLUID
PATCH(OB3 ,INIVAL, 1, 1, 1, 83, 1, 200, 1, 1)
INIT(OB3 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: SH
PATCH(OB4 ,INIVAL, 1, 1, 88, 100, 113, 115, 1, 1)
INIT(OB4 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB5 ,INIVAL, 1, 1, 88, 100, 84, 86, 1, 1)
INIT(OB5 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: GROUNDH
PATCH(OB6 ,INIVAL, 1, 1, 88, 201, 119, 200, 1, 1)
INIT(OB6 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: SSUP
PATCH(OB7 ,INIVAL, 1, 1, 141, 167, 87, 112, 1, 1)
INIT(OB7 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: GROUND SU

```

PATCH(OB8 ,INIVAL, 1, 1, 195, 201, 81, 118, 1, 1)
INIT(OB8 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: FLUID2
PATCH(OB9 ,INIVAL, 1, 1, 83, 87, 1, 200, 1, 1)
INIT(OB9 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.200000E+01)
INIADD = F
FSWEEP = 1
NAMFI =CHAM

Group 12. Patchwise adjustment of terms
Patches for this group are printed with those
for Group 13.

Their names begin either with GP12 or &

Group 13. Boundary & Special Sources

Parent VR object for this patch is: GROUNDL
PATCH(OB1_S ,NWALL, 1, 1, 87, 87, 1, 80, 1, 1)
COVAL(OB1_S ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB1_S ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB1_S ,TEM1, 1.000000E+00, 0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDL
PATCH(OB1_H ,LWALL, 1, 1, 88, 201, 81, 81, 1, 1)
COVAL(OB1_H ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB1_H ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB1_H ,TEM1, 1.000000E+00, 0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
PATCH(OB2_S ,NWALL, 1, 1, 87, 87, 90, 109, 1, 1)
COVAL(OB2_S ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_S ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_S ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
PATCH(OB2_N ,SWALL, 1, 1, 101, 101, 90, 109, 1, 1)
COVAL(OB2_N ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_N ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_N ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
PATCH(OB2_L ,HWALL, 1, 1, 88, 100, 89, 89, 1, 1)
COVAL(OB2_L ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_L ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_L ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
PATCH(OB2_H ,LWALL, 1, 1, 88, 100, 110, 110, 1, 1)
COVAL(OB2_H ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_H ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_H ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
PATCH(OB4_S ,NWALL, 1, 1, 87, 87, 113, 115, 1, 1)
COVAL(OB4_S ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_S ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_S ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH

PATCH(OB4_N ,SWALL, 1, 1, 101, 101, 113, 115, 1, 1)
COVAL(OB4_N ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_N ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_N ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
PATCH(OB4_L ,HWALL, 1, 1, 88, 100, 112, 112, 1, 1)
COVAL(OB4_L ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_L ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_L ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
PATCH(OB4_H ,LWALL, 1, 1, 88, 100, 116, 116, 1, 1)
COVAL(OB4_H ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_H ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_H ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB5_S ,NWALL, 1, 1, 87, 87, 84, 86, 1, 1)
COVAL(OB5_S ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_S ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_S ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB5_N ,SWALL, 1, 1, 101, 101, 84, 86, 1, 1)
COVAL(OB5_N ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_N ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_N ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB5_L ,HWALL, 1, 1, 88, 100, 83, 83, 1, 1)
COVAL(OB5_L ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_L ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_L ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB5_H ,LWALL, 1, 1, 88, 100, 87, 87, 1, 1)
COVAL(OB5_H ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_H ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_H ,TEM1, 1.000000E+00, 1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDH
PATCH(OB6_S ,NWALL, 1, 1, 87, 87, 119, 200, 1, 1)
COVAL(OB6_S ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_S ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_S ,TEM1, 1.000000E+00, 0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDH
PATCH(OB6_L ,HWALL, 1, 1, 88, 201, 118, 118, 1, 1)
COVAL(OB6_L ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_L ,V1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_L ,TEM1, 1.000000E+00, 0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
PATCH(OB7_S ,NWALL, 1, 1, 140, 140, 87, 112, 1, 1)
COVAL(OB7_S ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_S ,W1 , 1.000000E+00, SAME)

COVAL(OB7_S ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
 PATCH(OB7_N ,SWALL , 1, 1, 168, 168, 87, 112, 1, 1)
 COVAL(OB7_N ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB7_N ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB7_N ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
 PATCH(OB7_L ,HWALL , 1, 1, 141, 167, 86, 86, 1, 1)
 COVAL(OB7_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB7_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB7_L ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
 PATCH(OB7_H ,LWALL , 1, 1, 141, 167, 113, 113, 1, 1)
 COVAL(OB7_H ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB7_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB7_H ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDSU
 PATCH(OB8_S ,NWALL , 1, 1, 194, 194, 81, 118, 1, 1)
 COVAL(OB8_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB8_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB8_S ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDSU
 PATCH(OB8_L ,HWALL , 1, 1, 195, 201, 80, 80, 1, 1)
 COVAL(OB8_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB8_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB8_L ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDSU
 PATCH(OB8_H ,LWALL , 1, 1, 195, 201, 119, 119, 1, 1)
 COVAL(OB8_H ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB8_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB8_H ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: FLUID
 PATCH(OC3 ,VOLUME, 1, 1, 1, 83, 1, 200, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: FLUID2
 PATCH(OC9 ,VOLUME, 1, 1, 83, 87, 1, 200, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: SENS
 PATCH(INF2 ,VOLUME, 1, 1, 88, 100, 90, 109, 1, 1)
 COVAL(INF2 ,CAPA,0.000000E+00,0.000000E+00)
 COVAL(INF2 ,QTOT,0.000000E+00,0.000000E+00)
 COVAL(INF2 ,AREA,0.000000E+00,0.000000E+00)
 COVAL(INF2 ,QCEL,0.000000E+00,0.000000E+00)
 COVAL(INF2 ,CAMP,0.000000E+00,0.000000E+00)
 XCYLE = F
 EGWF = F

Group 14. Downstream Pressure For PARAB

Group 15. Terminate Sweeps
 LSWEEP = 200 ;ISWC1 = 1

LITHYD = 1 ;LITFLX = 1 ;LITC = 1 ;ITHC1 = 1
 SELREF = T
 RESFAC = 1.000000E-03

Group 16. Terminate Iterations
 LITER (TEM1) = 20
 ENDIT (TEM1) = 1.000000E-03

Group 17. Relaxation
 RELAX(U1 ,LINRLX,1.000000E+00)
 RELAX(V1 ,LINRLX,1.000000E+00)
 RELAX(W1 ,LINRLX,1.000000E+00)
 RELAX(PRPS,LINRLX,1.000000E+00)
 RELAX(CAPA,LINRLX,1.000000E+00)
 RELAX(QTOT,LINRLX,1.000000E+00)
 RELAX(AREA,LINRLX,1.000000E+00)
 RELAX(QCEL,LINRLX,1.000000E+00)
 RELAX(CAMP,LINRLX,1.000000E+00)
 RELAX(VOLT,LINRLX,1.000000E+00)
 RELAX(TEM1,LINRLX,2.500000E-01)
 OVRRLX = 0.000000E+00
 EXPERT = F ;NNORSL = F

Group 18. Limits
 VARMAX(U1) = 1.000000E+06 ;VARMIN(U1) = 1.000000E+06
 VARMAX(V1) = 1.000000E+06 ;VARMIN(V1) = 1.000000E+06
 VARMAX(W1) = 1.000000E+06 ;VARMIN(W1) = 1.000000E+06
 VARMAX(PRPS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(PRPS) = 1.000000E+10
 VARMAX(CAPA) = 1.000000E+10 ;VARMIN(CAPA) = 1.000000E+10
 VARMAX(QTOT) = 1.000000E+10 ;VARMIN(QTOT) = 1.000000E+10
 VARMAX(AREA) = 1.000000E+10 ;VARMIN(AREA) = 1.000000E+10
 VARMAX(QCEL) = 1.000000E+10 ;VARMIN(QCEL) = 1.000000E+10
 VARMAX(CAMP) = 1.000000E+10 ;VARMIN(CAMP) = 1.000000E+10
 VARMAX(VOLT) = 1.000000E+10 ;VARMIN(VOLT) = 1.000000E+10
 VARMAX(TEM1) = 1.000000E+10 ;VARMIN(TEM1) = 1.000000E+10

Group 19. Data transmitted to GROUND
 USEGRD = T ;USEGRX = T
 PARSOL = F
 CONWIZ = T
 ISG50 = 2
 SPEDAT(SET,DOMAIN,PHASE_1_MAT,I,41)
 SPEDAT(SET,OUTPUT,TECPLOT,C,YES)
 SPEDAT(SET,STORED,VOLT,C,=TEM1!ZSLFIN)
 SPEDAT(SET,STORED,CAMP!SENS,C,=(1-VOLT)/(0.013000-RG)!SWPFIN)

SPEDAT(SET,STORED,AREA!SENS,C,=ANORTH!SWPFIN)

SPEDAT(SET,STORED,QCEL!SENS,C,=CAMP*AREA*88.5!SWPFIN)

```

SPEDAT(SET,STORED,QTOT!SENS,C,=SUM(QCEL)!SWP
FIN)
SPEDAT(SET,STORED,CAPA!SENS,C,=QTOT/(1-
0)!SWPFIN)
SPEDAT(SET,STORED,W1,C,=(-(TEM1[&&+1]-
TEM1)/DZG)!SWPFIN)
SPEDAT(SET,STORED,V1,C,=(-(TEM1[&+1]-
TEM1)/(DYG))!SWPFIN)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1,C,GROUNDL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,GROUNDL,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1_S,C,GROUNDL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1_H,C,GROUNDL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SENS,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_S,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_N,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_L,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_H,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB3,C,FLUID)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB3,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,FLUID,MATERIAL,R,4.00000E+01)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC3,C,FLUID)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC3,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SH,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_S,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_N,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_L,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_H,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SL,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5_S,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5_N,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5_L,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5_H,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6,C,GROUNDH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,GROUNDH,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6_S,C,GROUNDH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6_L,C,GROUNDH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SSUP,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_S,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_S,C,PLATE)

```

```

SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_N,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_L,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_H,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,GROUNDSU,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8_S,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8_L,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8_H,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB9,C,FLUID2)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB9,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,FLUID2,MATERIAL,R,4.20000E+01)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC9,C,FLUID2)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC9,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,FACETDAT,NUMOBJ,I,9)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!INF2,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!INF2,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,MATERIAL,198,L,T)
SPEDAT(SET,MATERIAL,40,L,T)
SPEDAT(SET,MATERIAL,42,L,T)

```

Group 20. Preliminary Printout
ECHO = T

Group 21. Print-out of Variables
INIFLD = F ;SUBWGR = F
* Y in OUTPUT argument list denotes:
* 1-field 2-correction-eq. monitor 3-selective dumping
* 4-whole-field residual 5-spot-value table 6-residual table
OUTPUT(U1 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(V1 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(W1 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(PRPS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(CAPA,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(QTOT,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(AREA,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(QCEL,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(CAMP,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(VOLT,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(TEM1,Y,N,Y,Y,Y,Y)

Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 1 ;IYMON = 85 ;IZMON = 200
NPRMON = 100000 ;NPRMNT = 1 ;TSTSWP = 10001
UWATCH = F ;USTEER = F
HIGHLO = F

Group 23. Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 200 ;NUMCLS = 5
NYPRIN = 40 ;IYPRF = 1 ;IYPRL = 201
NZPRIN = 40 ;IZPRF = 1 ;IZPRL = 10000
XZPR = F ;YZPR = T
IPLTF = 1 ;IPLTL = 200 ;NPLT = 10
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
ITABL = 3 ;IPROF = 1
ABSIZ = 5.000000E-01 ;ORSIZ = 4.000000E-01
NTZPRF = 1 ;NCOLPF = 50
ICHR = 2 ;NCOLCO = 45 ;NROWCO = 20
No PATCHes yet used for this Group

Group 24. Dumps For Restarts

SAVE = T ;NOWIPE = F

NSAVE =CHAM

*** grid-geometry information ***

X-coordinates of the cell centres

3.142E-01

Y-coordinates of the cell centres

7.471E-05 2.241E-04 3.736E-04 5.230E-04 6.724E-04
8.218E-04 9.713E-04 1.121E-03 1.270E-03 1.420E-03
1.569E-03 1.718E-03 1.868E-03 2.017E-03 2.167E-03
2.316E-03 2.466E-03 2.615E-03 2.764E-03 2.914E-03
3.063E-03 3.213E-03 3.362E-03 3.511E-03 3.661E-03
3.810E-03 3.960E-03 4.109E-03 4.259E-03 4.408E-03
4.557E-03 4.707E-03 4.856E-03 5.006E-03 5.155E-03
5.305E-03 5.454E-03 5.603E-03 5.753E-03 5.902E-03
6.052E-03 6.201E-03 6.351E-03 6.500E-03 6.649E-03
6.799E-03 6.948E-03 7.098E-03 7.247E-03 7.397E-03
7.546E-03 7.695E-03 7.845E-03 7.994E-03 8.144E-03
8.293E-03 8.443E-03 8.592E-03 8.741E-03 8.891E-03
9.040E-03 9.190E-03 9.339E-03 9.489E-03 9.638E-03
9.787E-03 9.937E-03 1.009E-02 1.024E-02 1.039E-02
1.053E-02 1.068E-02 1.083E-02 1.098E-02 1.113E-02
1.128E-02 1.143E-02 1.158E-02 1.173E-02 1.188E-02
1.203E-02 1.218E-02 1.233E-02 1.248E-02 1.263E-02
1.278E-02 1.293E-02 1.308E-02 1.323E-02 1.338E-02
1.354E-02 1.369E-02 1.385E-02 1.400E-02 1.415E-02
1.431E-02 1.446E-02 1.462E-02 1.477E-02 1.492E-02
1.508E-02 1.523E-02 1.538E-02 1.553E-02 1.568E-02
1.583E-02 1.598E-02 1.613E-02 1.628E-02 1.643E-02
1.658E-02 1.673E-02 1.688E-02 1.703E-02 1.718E-02
1.733E-02 1.748E-02 1.763E-02 1.778E-02 1.793E-02
1.808E-02 1.823E-02 1.838E-02 1.853E-02 1.868E-02
1.883E-02 1.898E-02 1.913E-02 1.928E-02 1.943E-02
1.958E-02 1.973E-02 1.988E-02 2.003E-02 2.018E-02
2.033E-02 2.048E-02 2.063E-02 2.078E-02 2.093E-02
2.107E-02 2.122E-02 2.137E-02 2.152E-02 2.167E-02
2.181E-02 2.196E-02 2.211E-02 2.226E-02 2.241E-02
2.256E-02 2.270E-02 2.285E-02 2.300E-02 2.315E-02
2.330E-02 2.344E-02 2.359E-02 2.374E-02 2.389E-02
2.404E-02 2.419E-02 2.433E-02 2.448E-02 2.463E-02
2.478E-02 2.493E-02 2.507E-02 2.522E-02 2.537E-02
2.552E-02 2.567E-02 2.581E-02 2.596E-02 2.611E-02
2.626E-02 2.641E-02 2.656E-02 2.670E-02 2.685E-02
2.700E-02 2.715E-02 2.730E-02 2.744E-02 2.759E-02
2.774E-02 2.789E-02 2.804E-02 2.819E-02 2.833E-02
2.848E-02 2.863E-02 2.878E-02 2.893E-02 2.907E-02
2.921E-02 2.936E-02 2.950E-02 2.964E-02 2.979E-02
2.993E-02

Z-coordinates of the cell centres

3.250E-04 9.750E-04 1.625E-03 2.275E-03 2.925E-03
3.575E-03 4.225E-03 4.875E-03 5.525E-03 6.175E-03
6.825E-03 7.475E-03 8.125E-03 8.775E-03 9.425E-03
1.008E-02 1.073E-02 1.137E-02 1.203E-02 1.268E-02
1.333E-02 1.398E-02 1.463E-02 1.528E-02 1.593E-02
1.658E-02 1.723E-02 1.788E-02 1.853E-02 1.918E-02
1.983E-02 2.048E-02 2.113E-02 2.178E-02 2.243E-02
2.308E-02 2.373E-02 2.438E-02 2.503E-02 2.568E-02
2.633E-02 2.698E-02 2.763E-02 2.828E-02 2.893E-02
2.958E-02 3.023E-02 3.088E-02 3.153E-02 3.218E-02
3.283E-02 3.348E-02 3.413E-02 3.478E-02 3.543E-02
3.608E-02 3.673E-02 3.738E-02 3.803E-02 3.868E-02
3.933E-02 3.998E-02 4.063E-02 4.128E-02 4.193E-02
4.258E-02 4.323E-02 4.388E-02 4.453E-02 4.518E-02
4.583E-02 4.648E-02 4.713E-02 4.778E-02 4.843E-02

4.908E-02 4.973E-02 5.038E-02 5.103E-02 5.168E-02
5.233E-02 5.300E-02 5.367E-02 5.433E-02 5.500E-02
5.567E-02 5.633E-02 5.700E-02 5.767E-02 5.833E-02
5.898E-02 5.963E-02 6.028E-02 6.093E-02 6.158E-02
6.223E-02 6.288E-02 6.353E-02 6.418E-02 6.483E-02
6.548E-02 6.613E-02 6.678E-02 6.743E-02 6.808E-02
6.873E-02 6.938E-02 7.003E-02 7.067E-02 7.133E-02
7.200E-02 7.267E-02 7.333E-02 7.400E-02 7.467E-02
7.533E-02 7.600E-02 7.667E-02 7.732E-02 7.797E-02
7.862E-02 7.926E-02 7.991E-02 8.055E-02 8.120E-02
8.185E-02 8.249E-02 8.314E-02 8.379E-02 8.443E-02
8.508E-02 8.573E-02 8.637E-02 8.702E-02 8.766E-02
8.831E-02 8.896E-02 8.960E-02 9.025E-02 9.090E-02
9.154E-02 9.219E-02 9.284E-02 9.348E-02 9.413E-02
9.477E-02 9.542E-02 9.607E-02 9.671E-02 9.736E-02
9.801E-02 9.865E-02 9.930E-02 9.995E-02 1.006E-01
1.012E-01 1.019E-01 1.025E-01 1.032E-01 1.038E-01
1.045E-01 1.051E-01 1.058E-01 1.064E-01 1.071E-01
1.077E-01 1.083E-01 1.090E-01 1.096E-01 1.103E-01
1.109E-01 1.116E-01 1.122E-01 1.129E-01 1.135E-01
1.142E-01 1.148E-01 1.155E-01 1.161E-01 1.168E-01
1.174E-01 1.180E-01 1.187E-01 1.193E-01 1.200E-01
1.206E-01 1.213E-01 1.219E-01 1.226E-01 1.232E-01
1.239E-01 1.245E-01 1.252E-01 1.258E-01 1.264E-01
1.271E-01 1.277E-01 1.284E-01 1.290E-01 1.297E-01

X-coordinates of the (higher) cell faces

6.283E-01

Y-coordinates of the (higher) cell faces

1.494E-04 2.989E-04 4.483E-04 5.977E-04 7.471E-04
8.966E-04 1.046E-03 1.195E-03 1.345E-03 1.494E-03
1.644E-03 1.793E-03 1.943E-03 2.092E-03 2.241E-03
2.391E-03 2.540E-03 2.690E-03 2.839E-03 2.989E-03
3.138E-03 3.287E-03 3.437E-03 3.586E-03 3.736E-03
3.885E-03 4.034E-03 4.184E-03 4.333E-03 4.483E-03
4.632E-03 4.782E-03 4.931E-03 5.080E-03 5.230E-03
5.379E-03 5.529E-03 5.678E-03 5.828E-03 5.977E-03
6.126E-03 6.276E-03 6.425E-03 6.575E-03 6.724E-03
6.874E-03 7.023E-03 7.172E-03 7.322E-03 7.471E-03
7.621E-03 7.770E-03 7.920E-03 8.069E-03 8.218E-03
8.368E-03 8.517E-03 8.667E-03 8.816E-03 8.966E-03
9.115E-03 9.264E-03 9.414E-03 9.563E-03 9.713E-03
9.862E-03 1.001E-02 1.016E-02 1.031E-02 1.046E-02
1.061E-02 1.076E-02 1.091E-02 1.106E-02 1.121E-02
1.136E-02 1.151E-02 1.166E-02 1.180E-02 1.195E-02
1.210E-02 1.225E-02 1.240E-02 1.255E-02 1.270E-02
1.285E-02 1.300E-02 1.315E-02 1.331E-02 1.346E-02
1.362E-02 1.377E-02 1.392E-02 1.408E-02 1.423E-02
1.438E-02 1.454E-02 1.469E-02 1.485E-02 1.500E-02
1.515E-02 1.530E-02 1.545E-02 1.560E-02 1.575E-02
1.590E-02 1.605E-02 1.620E-02 1.635E-02 1.650E-02
1.665E-02 1.680E-02 1.695E-02 1.710E-02 1.725E-02
1.740E-02 1.755E-02 1.770E-02 1.785E-02 1.800E-02
1.815E-02 1.830E-02 1.845E-02 1.860E-02 1.875E-02
1.890E-02 1.905E-02 1.920E-02 1.935E-02 1.950E-02
1.965E-02 1.980E-02 1.995E-02 2.010E-02 2.025E-02
2.040E-02 2.055E-02 2.070E-02 2.085E-02 2.100E-02
2.115E-02 2.130E-02 2.144E-02 2.159E-02 2.174E-02
2.189E-02 2.204E-02 2.219E-02 2.233E-02 2.248E-02
2.263E-02 2.278E-02 2.293E-02 2.307E-02 2.322E-02
2.337E-02 2.352E-02 2.367E-02 2.381E-02 2.396E-02
2.411E-02 2.426E-02 2.441E-02 2.456E-02 2.470E-02
2.485E-02 2.500E-02 2.515E-02 2.530E-02 2.544E-02
2.559E-02 2.574E-02 2.589E-02 2.604E-02 2.619E-02
2.633E-02 2.648E-02 2.663E-02 2.678E-02 2.693E-02
2.707E-02 2.722E-02 2.737E-02 2.752E-02 2.767E-02

2.781E-02 2.796E-02 2.811E-02 2.826E-02 2.841E-02
 2.856E-02 2.870E-02 2.885E-02 2.900E-02 2.914E-02
 2.929E-02 2.943E-02 2.957E-02 2.971E-02 2.986E-02
 3.000E-02
 Z-coordinates of the (higher) cell faces
 6.500E-04 1.300E-03 1.950E-03 2.600E-03 3.250E-03
 3.900E-03 4.550E-03 5.200E-03 5.850E-03 6.500E-03
 7.150E-03 7.800E-03 8.450E-03 9.100E-03 9.750E-03
 1.040E-02 1.105E-02 1.170E-02 1.235E-02 1.300E-02
 1.365E-02 1.430E-02 1.495E-02 1.560E-02 1.625E-02
 1.690E-02 1.755E-02 1.820E-02 1.885E-02 1.950E-02
 2.015E-02 2.080E-02 2.145E-02 2.210E-02 2.275E-02
 2.340E-02 2.405E-02 2.470E-02 2.535E-02 2.600E-02
 2.665E-02 2.730E-02 2.795E-02 2.860E-02 2.925E-02
 2.990E-02 3.055E-02 3.120E-02 3.185E-02 3.250E-02
 3.315E-02 3.380E-02 3.445E-02 3.510E-02 3.575E-02
 3.640E-02 3.705E-02 3.770E-02 3.835E-02 3.900E-02
 3.965E-02 4.030E-02 4.095E-02 4.160E-02 4.225E-02
 4.290E-02 4.355E-02 4.420E-02 4.485E-02 4.550E-02
 4.615E-02 4.680E-02 4.745E-02 4.810E-02 4.875E-02
 4.940E-02 5.005E-02 5.070E-02 5.135E-02 5.200E-02
 5.267E-02 5.333E-02 5.400E-02 5.467E-02 5.533E-02
 5.600E-02 5.667E-02 5.733E-02 5.800E-02 5.865E-02
 5.930E-02 5.995E-02 6.060E-02 6.125E-02 6.190E-02
 6.255E-02 6.320E-02 6.385E-02 6.450E-02 6.515E-02
 6.580E-02 6.645E-02 6.710E-02 6.775E-02 6.840E-02
 6.905E-02 6.970E-02 7.035E-02 7.100E-02 7.167E-02
 7.233E-02 7.300E-02 7.367E-02 7.433E-02 7.500E-02
 7.567E-02 7.633E-02 7.700E-02 7.765E-02 7.829E-02
 7.894E-02 7.959E-02 8.023E-02 8.088E-02 8.152E-02
 8.217E-02 8.282E-02 8.346E-02 8.411E-02 8.476E-02
 8.540E-02 8.605E-02 8.670E-02 8.734E-02 8.799E-02
 8.863E-02 8.928E-02 8.993E-02 9.057E-02 9.122E-02
 9.187E-02 9.251E-02 9.316E-02 9.380E-02 9.445E-02
 9.510E-02 9.574E-02 9.639E-02 9.704E-02 9.768E-02
 9.833E-02 9.898E-02 9.962E-02 1.003E-01 1.009E-01
 1.016E-01 1.022E-01 1.029E-01 1.035E-01 1.041E-01
 1.048E-01 1.054E-01 1.061E-01 1.067E-01 1.074E-01
 1.080E-01 1.087E-01 1.093E-01 1.100E-01 1.106E-01
 1.113E-01 1.119E-01 1.125E-01 1.132E-01 1.138E-01
 1.145E-01 1.151E-01 1.158E-01 1.164E-01 1.171E-01
 1.177E-01 1.184E-01 1.190E-01 1.197E-01 1.203E-01
 1.210E-01 1.216E-01 1.222E-01 1.229E-01 1.235E-01
 1.242E-01 1.248E-01 1.255E-01 1.261E-01 1.268E-01
 1.274E-01 1.281E-01 1.287E-01 1.294E-01 1.300E-01

--- INTEGRATION OF EQUATIONS BEGINS ---

Flow field at ITHYD= 1, ISWEEP= 200, ISTEP= 1
 YZPR IX= 1 isweep = 200 istep = 1

Field Values of UI

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 0.0 none none
 IY= 121 none none 0.0 none none
 IY= 81 1.000E-10 0.0 0.0 0.0 0.0
 IY= 41 1.000E-10 0.0 0.0 0.0 0.0
 IY= 1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of V1

IY= 200 none none none none none
 IY= 160 none none 7.403E+00 none none
 IY= 120 none none 7.022E+00 none none

IY= 80 6.268E-03 4.629E-01 9.839E+01 1.149E+02
 3.263E-01
 IY= 40 5.743E-03 4.230E-01 3.398E+00 1.296E+01
 2.985E-01
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of W1

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none -2.066E+02 none none
 IY= 121 none none -2.262E+02 none none
 IY= 81 -4.146E-05 -2.814E-02 -2.934E+02 2.270E+01
 1.745E-02
 IY= 41 -9.372E-04 -6.274E-01 -6.672E+01 5.505E+01
 3.895E-01
 IY= 1 -1.389E-03 -9.191E-01 -5.134E+01 4.694E+01
 5.713E-01
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of PRPS

IY= 201 blockage blockage blockage blockage
 blockage
 IY= 161 blockage blockage pil prop blockage
 blockage
 IY= 121 blockage blockage pil prop blockage
 blockage
 IY= 81 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01
 4.000E+01
 IY= 41 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01
 4.000E+01
 IY= 1 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01 4.000E+01
 4.000E+01
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of CAPA

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 1.000E-10 none none
 IY= 121 none none 1.000E-10 none none
 IY= 81 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 41 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 1 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of QTOT

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 1.000E-10 none none
 IY= 121 none none 1.000E-10 none none
 IY= 81 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 41 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 1 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of AREA

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 1.000E-10 none none
 IY= 121 none none 1.000E-10 none none
 IY= 81 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 41 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10

IY= 1 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of QCEL

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 1.000E-10 none none
 IY= 121 none none 1.000E-10 none none
 IY= 81 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 41 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 1 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of CAMP

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 1.000E-10 none none
 IY= 121 none none 1.000E-10 none none
 IY= 81 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 41 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IY= 1 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 1.000E-10
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of VOLT

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 6.783E-02 none none
 IY= 121 none none 7.678E-02 none none
 IY= 81 1.832E-06 1.353E-04 3.010E-01 4.324E-02
 9.539E-05
 IY= 41 4.095E-05 3.022E-03 4.479E-01 3.260E-01
 2.131E-03
 IY= 1 6.013E-05 4.434E-03 4.554E-01 3.580E-01
 3.128E-03
 IZ= 1 41 81 121 161

Field Values of TEM1

IY= 201 none none none none none
 IY= 161 none none 6.783E-02 none none
 IY= 121 none none 7.678E-02 none none
 IY= 81 1.832E-06 1.353E-04 3.010E-01 4.324E-02
 9.539E-05
 IY= 41 4.095E-05 3.022E-03 4.479E-01 3.260E-01
 2.131E-03
 IY= 1 6.013E-05 4.434E-03 4.554E-01 3.580E-01
 3.128E-03
 IZ= 1 41 81 121 161

Whole-field residuals before solution
 with resref values determined by EARTH
 & resfac= 1.000000E-03
 variable resref (res sum)/resref (res sum)
 TEM1 3.195E-07 8.114E+01 2.593E-05

Sources and sinks
 pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum= 0.000000E+00
 net sum= 0.000000E+00

Nett source of TEM1 at patch named: OB1_S (GROUNDL)
 =-2.278394E-02

Nett source of TEM1 at patch named: OB1_H (GROUNDL)
 =-1.516405E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB2_S (SENS)=
 3.624992E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB2_N (SENS)=
 7.871177E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB2_L (SENS)=
 1.639040E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB2_H (SENS)=
 1.639081E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB4_S (SH)=
 2.078889E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB4_N (SH)=
 2.057135E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB4_L (SH)=
 2.154666E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB4_H (SH)=
 3.764337E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB5_S (SL)=
 2.078513E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB5_N (SL)=
 2.057115E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB5_L (SL)=
 3.764040E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB5_H (SL)=
 2.154594E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB6_S (GROUNDH)
 =-2.279742E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB6_L (GROUNDH)
 =-1.516350E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB7_S (SSUP)=
 3.450144E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB7_N (SSUP)=
 2.742881E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB7_L (SSUP)=
 6.912758E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB7_H (SSUP)=
 6.912794E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB8_S
 (GROUNDSU) =-2.752696E-01
 pos. sum= 6.241288E-01 neg. sum=-6.241266E-01
 nett sum= 2.264977E-06

spot values vs sweep or iteration number
 IXMON= 1 IYMON= 85 IZMON= 200
 TIMESTEP= 1

Tabulation of abscissa and ordinates...

ISWP TEM1
 1 1.000E-10
 11 5.722E-04
 21 3.526E-04
 31 2.050E-04
 41 1.209E-04
 51 7.183E-05
 61 4.283E-05
 71 2.559E-05
 81 1.532E-05
 91 9.194E-06
 101 5.540E-06
 111 3.361E-06
 121 2.063E-06
 131 1.290E-06
 141 8.298E-07
 151 5.564E-07

161 3.941E-07
171 2.978E-07
181 2.408E-07
191 2.071E-07
Variable 1 = TEM1
Minval= 1.000E-10
Maxval= 5.722E-04
Cellav= 7.151E-05
the abscissa is ISWP. min= 1.00E+00 max= 1.91E+02

residuals vs sweep or iteration number

Tabulation of abscissa and ordinates...

ISWP	TEM1
1	5.053E+09
11	6.988E+06
21	5.303E+05
31	5.244E+04

41	1.517E+04
51	7.890E+03
61	4.517E+03
71	2.632E+03
81	1.547E+03
91	9.219E+02
101	5.657E+02
111	3.542E+02
121	2.356E+02
131	1.662E+02
141	1.351E+02
151	1.092E+02
161	9.553E+01
171	8.702E+01
181	8.602E+01
191	8.233E+01

Variable 1 = TEM1
Minval= 4.411E+00
Maxval= 2.234E+01
the abscissa is ISWP. min= 1.00E+00 max= 1.91E+02

Tubo Padrão Bolhas Dispersas

Para o tubo padrão bolhas dispersas 10% de fração de vazio temos a seguinte montagem no software Phoenics, conforme a Figura 45.



Figura 45 – Montagem Phoenics para o tubo padrão bolhas dispersas 10 %.

Tubo padrão bolhas 10% Q1

```

Q1 created by VDI menu, Version 3.6, Date 11/05/06
CPVNAM=VDI;SPPNAM=Core
---
Echo DISPLAY / USE settings
---
IRUNN = 1 ;LIBREF = 0
---
Group 1. Run Title
TEXT(Medidor Impedancia 1 Anel )
---
Group 2. Transience
STEADY = T
---
Groups 3, 4, 5 Grid Information
* Overall number of cells, RSET(M,NX,NY,NZ,tolerance)
RSET(M,1,201,200)
* Cylindrical-polar grid
CARTES=F
---
Group 6. Body-Fitted coordinates
---
Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED
ONEPHS = T
* Non-default variable names
NAME(144) =CAPA ; NAME(145) =QTOT

```

```

NAME(146) =AREA ; NAME(147) =QCEL
NAME(148) =CAMP ; NAME(149) =VOLT
NAME(150) =TEM1
* Solved variables list
SOLVE(TEM1)
* Stored variables list
STORE(VOLT,CAMP,QCEL,AREA,QTOT,CAPA,W1 ,V1 )
STORE(U1 )
* Additional solver options
SOLUTN(TEM1,Y,Y,Y,N,N,Y)
---
Group 8. Terms & Devices
TERMS (TEM1,N,N,Y,N,Y,N)
---
Group 9. Properties
PRESS0 = 1.000000E+05 ;TEMP0 = 2.730000E+02
* Domain material index is 41 signifying:
* dummy fluid
SETPRPS(1, 41)
ENUT = 0.000000E+00
PRNDTL(TEM1) = -3.400000E+00
---
Group 10. Inter-Phase Transfer Processes
---
Group 11. Initialise Var/Porosity Fields
No PATCHes used for this Group
---
INIADD = F
---
Group 12. Convection and diffusion adjustments
No PATCHes used for this Group
---
Group 13. Boundary & Special Sources

```

No PATCHes used for this Group

```
EGWF = T
---
Group 14. Downstream Pressure For PARAB
---
Group 15. Terminate Sweeps
LSWEEP = 200
RESFAC = 1.000000E-03
---
Group 16. Terminate Iterations
---
Group 17. Relaxation
---
Group 18. Limits
VARMAX(U1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(U1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(V1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(V1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(W1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(W1 ) =-
1.000000E+06
---
Group 19. EARTH Calls To GROUND Station
USEGRD = T ;USEGRX = T
ASAP = T
PARSOL = T
CONWIZ = T
ISG50 = 2
SPEDAT(SET,OUTPUT,TECPLOT,C,YES)
---
Echo InForm settings for Group 19
Inform19Begin
REAL(VHIGT,VLOW,RAIO);
VHIGT=1;
VLOW=0;
RAIO=0.013;
(STORED VOLT IS TEM1)
(STORED OF CAMP AT SENS IS (VHIGT-VOLT)/(RAIO-
RG) with SWPFIN)
(STORED OF AREA AT SENS IS ANORTH with SWPFIN)
(STORED OF QCEL AT SENS IS CAMP*AREA*88.5 with
SWPFIN)
(STORED OF QTOT AT SENS IS SUM(QCEL) with
SWPFIN)
(STORED OF CAPA AT SENS IS QTOT/(VHIGT-VLOW)
with SWPFIN)
(STORED OF W1 IS (-(TEM1[&&+1]-TEM1)/DZG) with
SWPFIN)
(STORED OF V1 IS (-(TEM1[&&+1]-TEM1)/(DYG)) with
SWPFIN)
Inform19End
---
Group 20. Preliminary Printout
ECHO = T
---
Group 21. Print-out of Variables
---
Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 1 ;IYMON = 85 ;IZMON = 200
NPRMON = 100000
NPRMNT = 1
TSTSWP = -1
---
Group 23. Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 100000
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
```

No PATCHes used for this Group

```
---
Group 24. Dumps For Restarts
GVIEW(P,-9.768973E-01,2.136338E-01,-5.697105E-03)
GVIEW(UP,2.136292E-01,9.769138E-01,1.408399E-03)
> DOM, SIZE, 6.283200E-01, 3.000000E-02, 1.300000E-
01
> DOM, MONIT, 3.141600E-01, 1.262640E-02,
1.296770E-01
> DOM, SCALE, 1.000000E+00, 1.000000E+00,
5.000000E-01
> DOM, SNAPSIZE, 1.000000E-02
> GRID, AUTO, T T T
> GRID, MAXCELL, 5.000000E-02, 5.000000E-03,
5.000000E-03
> GRID, RSET_X_1, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_1, 87, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_2, 13, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_3, 40, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_4, 27, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_5, 27, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_6, 7, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_1, 80, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_2, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_3, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_4, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_5, 20, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_6, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_7, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_8, 3, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_9, 82, 1.000000E+00
---
> OBJ, NAME, GROUNDL
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02,
0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 1.700000E-02, 5.200000E-
02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 0.000000E+00
---
> OBJ, NAME, SENS
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02,
5.800000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 2.000000E-03, 1.300000E-
02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00
---
> OBJ, NAME, FLUID
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00,
0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 6.283197E-01, 1.233288E-02, 1.300000E-
01
> OBJ, GEOMETRY, polcubt2
```

```

> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, COLOR-MODE, USER
> OBJ, COLOR-VAL, 1
> OBJ, MATERIAL, 40, dummy fluid

> OBJ, NAME, SH
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02,
7.300000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 2.000000E-03, 2.000000E-
03
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198, Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, SL
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02,
5.400000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 2.000000E-03, 2.000000E-
03
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198, Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, GROUNDH
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.300000E-02,
7.700000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 1.700000E-02, 5.299999E-
02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198, Solid with smooth-wall friction

> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, NAME, SSUP
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 2.100000E-02,
5.650000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 4.000000E-03, 1.600000E-
02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198, Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_N, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 1.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, GROUND SU
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 2.900000E-02,
5.200000E-02
> OBJ, SIZE, 6.283200E-01, 1.000000E-03, 2.500000E-
02
> OBJ, GEOMETRY, polcu7
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198, Solid with smooth-wall friction
> OBJ, SURF_TEMP_S, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_L, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SURF_TEMP_H, 0.000000E+00, 0.000000E+00

> OBJ, NAME, FLUID2
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.233288E-02,
0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 6.283197E-01, 6.671170E-04, 1.300000E-
01
> OBJ, GEOMETRY, polcubt2
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, COLOR-MODE, USER
> OBJ, COLOR-VAL, 222
> OBJ, MATERIAL, 42, dummy fluid
STOP
</strong></pre></body></html>

```

```

speht1
also, other related settings are ...
USEGRX = T
USEGRD = T

```

Tubo Padrão Anular 90% RESULT

Information about material properties

```

Total number of SPEDATs is 368
number of materials specified by SPEDATs is 3
solprp = 100 porprp = 198 vacprp = 199
!!!! The properties file is PROPS
Properties being read from PROPS
Properties have been read from PROPS

```

```

Property-related data from gxprutil:
PRPS is stored with initial value =
=-1.000000E+00

```

```

Material properties used are...
denst1
visclm
tempr1

```

```

>>> End of property-related data <<<

```

```

---
Number of F-array locations available is 96906751
Number used before BFC allowance is 95013282
Number used after BFC allowance is 95013282
biggest cell volume divided by average is 2.075864 at:
ix = 3 iy = 665 iz = 272
xg = 3.926925E-01 yg = 2.997740E-02
zg = 5.249989E-02
smallest cell volume divided by average is 1.4596052E-03 at:
ix = 2 iy = 1 iz = 339
xg = 2.356125E-01 yg = 2.232142E-05
zg = 6.567297E-02
ratio of smallest to biggest is 7.0313155E-04
---

```

```

----- Recommended settings -----

```

CONWIZ = T activates settings based on
 refrho = 1.000000E+00 refvel = 1.000000E+01
 reflen = 1.000000E+00 reftemp = 1.000000E+03
 rlxdu1 = 5.000000E-01 rlxdv1 = 5.000000E-01
 rlxdw1 = 5.000000E-01
 Maximum change of TEM1 per sweep = 1000.000
 relaxation and min/max values left at
 defaults may have been changed

Group 1. Run Title and Number

TEXT(Medidor Impedancia 1 Anel)

IRUNN = 1 ;LIBREF = 0

Group 2. Time dependence

STEADY = T

Group 3. X-Direction Grid Spacing

CARTES = F

NX = 4

XULAST = 6.283200E-01

XFRAC (1) = 2.499921E-01 ;XFRAC (2) = 4.999841E-01

XFRAC (3) = 7.499921E-01 ;XFRAC (4) = 1.000000E+00

Group 4. Y-Direction Grid Spacing

NY = 665

YVLAST = 3.000000E-02

YFRAC (1) = 1.488095E-03 ;YFRAC (134) = 2.006411E-01

YFRAC (267) = 4.012500E-01 ;YFRAC (400) = 6.022557E-01

YFRAC (533) = 8.018728E-01

Group 5. Z-Direction Grid Spacing

PARAB = F

NZ = 670

ZWLAST = 1.300000E-01

ZFRAC (1) = 1.479290E-03 ;ZFRAC (135) = 2.002060E-01

ZFRAC (269) = 4.000000E-01 ;ZFRAC (403) = 6.029647E-01

ZFRAC (537) = 8.027616E-01

Group 6. Body-Fitted Coordinates

Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED

ONEPHS = T

NAME(3) = U1 ;NAME(5) = V1

NAME(7) = W1 ;NAME(143) = PRPS

NAME(144) = CAPA ;NAME(145) = QTOT

NAME(146) = AREA ;NAME(147) = QCEL

NAME(148) = CAMP ;NAME(149) = VOLT

NAME(150) = TEM1

* Y in SOLUTN argument list denotes:

* 1-stored 2-solved 3-whole-field

* 4-point-by-point 5-explicit 6-harmonic averaging

SOLUTN(U1 ,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(V1 ,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(W1 ,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(PRPS,Y,N,N,N,N,N)

SOLUTN(CAPA,Y,N,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(QTOT,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(AREA,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(QCEL,Y,N,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(CAMP,Y,N,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(VOLT,Y,N,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(TEM1,Y,Y,Y,N,N,N,Y)

PRPS = 143

Group 8. Terms & Devices

* Y in TERMS argument list denotes:

* 1-built-in source 2-convection 3-diffusion 4-transient

* 5-first phase variable 6-interphase transport

TERMS (TEM1,N,N,N,N,N,N)

DIFCUT = 5.000000E-01 ;ZDIFAC = 1.000000E+00

GALA = F ;ADDDIF = T

ISOLX = -1 ;ISOLY = -1 ;ISOLZ = -1

Group 9. Properties used if PRPS is not stored, and where PRPS = -1.0 if it is!

RHO1 = 1.000000E+00 ;TMP1 = 0.000000E+00

EL1 = 0.000000E+00

TSURR = 0.000000E+00 ;TEMP0 = 2.730000E+02

PRESS0 = 1.000000E+05

DVO1DT = 0.000000E+00 ;DRH1DP = 0.000000E+00

EMISS = 0.000000E+00 ;SCATT = 0.000000E+00

RADIA = 0.000000E+00 ;RADIB = 0.000000E+00

ENUL = 1.000000E+00 ;ENUT = 0.000000E+00

PRNDTL(TEM1) = -8.000000E+01

PRT (TEM1) = 1.000000E+00

CP1 = 1.000000E+00 ;CP2 = 1.000000E+00

Group 10. Inter-Phase Transfer Processes

Group 11. Initial field variables (PHIs)

FIINIT(U1) = 1.000000E-10 ;FIINIT(V1) = 1.000000E-10

FIINIT(W1) = 1.000000E-10 ;FIINIT(PRPS) = -

1.000000E+00

FIINIT(CAPA) = 1.000000E-10 ;FIINIT(QTOT) =

1.000000E-10

FIINIT(AREA) = 1.000000E-10 ;FIINIT(QCEL) =

1.000000E-10

FIINIT(CAMP) = 1.000000E-10 ;FIINIT(VOLT) =

1.000000E-10

FIINIT(TEM1) = 1.000000E-10

Parent VR object for this patch is: GROUNDL

PATCH(OB1 ,INIVAL, 1, 4, 289, 665, 1, 269, 1, 1)

INIT(OB1 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: SENS

PATCH(OB2 ,INIVAL, 1, 4, 289, 332, 300, 366, 1, 1)

INIT(OB2 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: SH

PATCH(OB3 ,INIVAL, 1, 4, 289, 332, 377, 386, 1, 1)

INIT(OB3 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: SL

PATCH(OB4 ,INIVAL, 1, 4, 289, 332, 280, 289, 1, 1)

INIT(OB4 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: GROUNDH

PATCH(OB5 ,INIVAL, 1, 4, 289, 665, 397, 670, 1, 1)

INIT(OB5 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: SSUP

PATCH(OB6 ,INIVAL, 1, 4, 466, 554, 292, 374, 1, 1)

INIT(OB6 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: GROUND
PATCH(OB7 ,INIVAL, 1, 4, 644, 665, 270, 396, 1, 1)
INIT(OB7 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

Parent VR object for this patch is: CPVC1
PATCH(OB8 ,INIVAL, 1, 4, 289, 643, 270, 279, 1, 1)
INIT(OB8 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.100000E+01)

Parent VR object for this patch is: CPVC2
PATCH(OB9 ,INIVAL, 1, 4, 289, 643, 387, 396, 1, 1)
INIT(OB9 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.100000E+01)

Parent VR object for this patch is: CPVC3
PATCH(OB10 ,INIVAL, 1, 4, 289, 465, 290, 299, 1, 1)
INIT(OB10 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.100000E+01)

Parent VR object for this patch is: CPVC4
PATCH(OB11 ,INIVAL, 1, 4, 289, 465, 367, 376, 1, 1)
INIT(OB11 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.100000E+01)

Parent VR object for this patch is: CPVC5
PATCH(OB12 ,INIVAL, 1, 4, 333, 643, 280, 289, 1, 1)
INIT(OB12 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.100000E+01)

Parent VR object for this patch is: CPVC6
PATCH(OB13 ,INIVAL, 1, 4, 333, 643, 377, 386, 1, 1)
INIT(OB13 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.100000E+01)

Parent VR object for this patch is: CPVC7
PATCH(OB14 ,INIVAL, 1, 4, 333, 465, 300, 366, 1, 1)
INIT(OB14 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.100000E+01)

Parent VR object for this patch is: BOLHA
PATCH(OB15 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 1, 26, 1, 1)
INIT(OB15 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: BOLHA2
PATCH(OB16 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 1, 26, 1, 1)
INIT(OB16 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: BOLHA3
PATCH(OB17 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 1, 26, 1, 1)
INIT(OB17 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: BOLHA4
PATCH(OB18 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 1, 26, 1, 1)
INIT(OB18 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B19
PATCH(OB19 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 55, 80, 1, 1)
INIT(OB19 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B20
PATCH(OB20 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 109, 134, 1, 1)
INIT(OB20 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B21
PATCH(OB21 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 163, 188, 1, 1)
INIT(OB21 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B22
PATCH(OB22 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 217, 242, 1, 1)
INIT(OB22 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B23
PATCH(OB23 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 270, 295, 1, 1)
INIT(OB23 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B24
PATCH(OB24 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 323, 348, 1, 1)
INIT(OB24 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B25
PATCH(OB25 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 376, 401, 1, 1)
INIT(OB25 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B26
PATCH(OB26 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 429, 454, 1, 1)
INIT(OB26 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B27
PATCH(OB27 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 483, 508, 1, 1)
INIT(OB27 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B28
PATCH(OB28 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 537, 562, 1, 1)
INIT(OB28 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B29
PATCH(OB29 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 591, 616, 1, 1)
INIT(OB29 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B30
PATCH(OB30 ,INIVAL, 1, 2, 57, 89, 645, 670, 1, 1)
INIT(OB30 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B31
PATCH(OB31 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 55, 80, 1, 1)
INIT(OB31 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B32
PATCH(OB32 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 109, 134, 1, 1)
INIT(OB32 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B33
PATCH(OB33 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 163, 188, 1, 1)
INIT(OB33 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B34
PATCH(OB34 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 217, 242, 1, 1)
INIT(OB34 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B35
PATCH(OB35 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 270, 295, 1, 1)
INIT(OB35 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B36
PATCH(OB36 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 323, 348, 1, 1)
INIT(OB36 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B37
PATCH(OB37 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 376, 401, 1, 1)
INIT(OB37 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B38
PATCH(OB38 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 429, 454, 1, 1)
INIT(OB38 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B39
PATCH(OB39 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 483, 508, 1, 1)

INIT(OB39 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B40
 PATCH(OB40 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 537, 562, 1, 1)
 INIT(OB40 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B41
 PATCH(OB41 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 591, 616, 1, 1)
 INIT(OB41 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B42
 PATCH(OB42 ,INIVAL, 1, 2, 168, 181, 645, 670, 1, 1)
 INIT(OB42 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B43
 PATCH(OB43 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 55, 80, 1, 1)
 INIT(OB43 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B44
 PATCH(OB44 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 109, 134, 1, 1)
 INIT(OB44 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B45
 PATCH(OB45 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 163, 188, 1, 1)
 INIT(OB45 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B46
 PATCH(OB46 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 217, 242, 1, 1)
 INIT(OB46 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B47
 PATCH(OB47 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 270, 295, 1, 1)
 INIT(OB47 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B48
 PATCH(OB48 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 323, 348, 1, 1)
 INIT(OB48 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B49
 PATCH(OB49 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 376, 401, 1, 1)
 INIT(OB49 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B50
 PATCH(OB50 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 429, 454, 1, 1)
 INIT(OB50 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B51
 PATCH(OB51 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 483, 508, 1, 1)
 INIT(OB51 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B52
 PATCH(OB52 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 537, 562, 1, 1)
 INIT(OB52 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B53
 PATCH(OB53 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 591, 616, 1, 1)
 INIT(OB53 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B54
 PATCH(OB54 ,INIVAL, 1, 2, 212, 222, 645, 670, 1, 1)
 INIT(OB54 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B55
 PATCH(OB55 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 55, 80, 1, 1)
 INIT(OB55 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B56
 PATCH(OB56 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 109, 134, 1, 1)
 INIT(OB56 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B57
 PATCH(OB57 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 163, 188, 1, 1)
 INIT(OB57 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B58
 PATCH(OB58 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 217, 242, 1, 1)
 INIT(OB58 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B59
 PATCH(OB59 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 270, 295, 1, 1)
 INIT(OB59 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B60
 PATCH(OB60 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 323, 348, 1, 1)
 INIT(OB60 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B61
 PATCH(OB61 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 376, 401, 1, 1)
 INIT(OB61 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B62
 PATCH(OB62 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 429, 454, 1, 1)
 INIT(OB62 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B63
 PATCH(OB63 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 483, 508, 1, 1)
 INIT(OB63 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B64
 PATCH(OB64 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 537, 562, 1, 1)
 INIT(OB64 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B65
 PATCH(OB65 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 591, 616, 1, 1)
 INIT(OB65 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B66
 PATCH(OB66 ,INIVAL, 1, 2, 265, 273, 645, 670, 1, 1)
 INIT(OB66 ,PRPS, 0.000000E+00, 4.000000E+01)
 INIADD = F
 FSWEEP = 1
 NAMFI =CHAM

 Group 12. Patchwise adjustment of terms
 Patches for this group are printed with those
 for Group 13.
 Their names begin either with GP12 or &

 Group 13. Boundary & Special Sources

Parent VR object for this patch is: GROUNDL
 PATCH(OB1_S ,NWALL , 1, 4, 288, 288, 1, 269, 1, 1)
 COVAL(OB1_S ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB1_S ,W1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB1_S ,TEM1, 1.000000E+00, 0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDL
 PATCH(OB1_H ,LWALL , 1, 4, 289, 665, 270, 270, 1, 1)
 COVAL(OB1_H ,U1 , 1.000000E+00, SAME)
 COVAL(OB1_H ,V1 , 1.000000E+00, SAME)

COVAL(OB1_H ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
PATCH(OB2_S ,NWALL , 1, 4, 288, 288, 300, 366, 1, 1)
COVAL(OB2_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_S ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
PATCH(OB2_N ,SWALL , 1, 4, 333, 333, 300, 366, 1, 1)
COVAL(OB2_N ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_N ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_N ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
PATCH(OB2_L ,HWALL , 1, 4, 289, 332, 299, 299, 1, 1)
COVAL(OB2_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_L ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SENS
PATCH(OB2_H ,LWALL , 1, 4, 289, 332, 367, 367, 1, 1)
COVAL(OB2_H ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB2_H ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
PATCH(OB3_S ,NWALL , 1, 4, 288, 288, 377, 386, 1, 1)
COVAL(OB3_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB3_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB3_S ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
PATCH(OB3_N ,SWALL , 1, 4, 333, 333, 377, 386, 1, 1)
COVAL(OB3_N ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB3_N ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB3_N ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
PATCH(OB3_L ,HWALL , 1, 4, 289, 332, 376, 376, 1, 1)
COVAL(OB3_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB3_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB3_L ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SH
PATCH(OB3_H ,LWALL , 1, 4, 289, 332, 387, 387, 1, 1)
COVAL(OB3_H ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB3_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB3_H ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB4_S ,NWALL , 1, 4, 288, 288, 280, 289, 1, 1)
COVAL(OB4_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_S ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB4_N ,SWALL , 1, 4, 333, 333, 280, 289, 1, 1)
COVAL(OB4_N ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_N ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_N ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB4_L ,HWALL , 1, 4, 289, 332, 279, 279, 1, 1)
COVAL(OB4_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_L ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SL
PATCH(OB4_H ,LWALL , 1, 4, 289, 332, 290, 290, 1, 1)
COVAL(OB4_H ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB4_H ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDH
PATCH(OB5_S ,NWALL , 1, 4, 288, 288, 397, 670, 1, 1)
COVAL(OB5_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_S ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDH
PATCH(OB5_L ,HWALL , 1, 4, 289, 665, 396, 396, 1, 1)
COVAL(OB5_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB5_L ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
PATCH(OB6_S ,NWALL , 1, 4, 465, 465, 292, 374, 1, 1)
COVAL(OB6_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_S ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
PATCH(OB6_N ,SWALL , 1, 4, 555, 555, 292, 374, 1, 1)
COVAL(OB6_N ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_N ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_N ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
PATCH(OB6_L ,HWALL , 1, 4, 466, 554, 291, 291, 1, 1)
COVAL(OB6_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_L ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: SSUP
PATCH(OB6_H ,LWALL , 1, 4, 466, 554, 375, 375, 1, 1)
COVAL(OB6_H ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB6_H ,TEM1,1.000000E+00,1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUNDHSU
PATCH(OB7_S ,NWALL , 1, 4, 643, 643, 270, 396, 1, 1)
COVAL(OB7_S ,U1 ,1.000000E+00, SAME)

COVAL(OB7_S ,W1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_S ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUND SU
PATCH(OB7_L ,HWALL , 1, 4, 644, 665, 269, 269, 1, 1)

COVAL(OB7_L ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_L ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_L ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: GROUND SU
PATCH(OB7_H ,LWALL , 1, 4, 644, 665, 397, 397, 1, 1)

COVAL(OB7_H ,U1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_H ,V1 ,1.000000E+00, SAME)
COVAL(OB7_H ,TEM1,1.000000E+00,0.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: CPVC1
PATCH(OC8 ,VOLUME, 1, 4, 289, 643, 270, 279, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: CPVC2
PATCH(OC9 ,VOLUME, 1, 4, 289, 643, 387, 396, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: CPVC3
PATCH(OC10 ,VOLUME, 1, 4, 289, 465, 290, 299, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: CPVC4
PATCH(OC11 ,VOLUME, 1, 4, 289, 465, 367, 376, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: CPVC5
PATCH(OC12 ,VOLUME, 1, 4, 333, 643, 280, 289, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: CPVC6
PATCH(OC13 ,VOLUME, 1, 4, 333, 643, 377, 386, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: CPVC7
PATCH(OC14 ,VOLUME, 1, 4, 333, 465, 300, 366, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: BOLHA
PATCH(OC15 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 1, 26, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: BOLHA2
PATCH(OC16 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 1, 26, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: BOLHA3
PATCH(OC17 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 1, 26, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: BOLHA4
PATCH(OC18 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 1, 26, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B19
PATCH(OC19 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 55, 80, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B20
PATCH(OC20 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 109, 134, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B21
PATCH(OC21 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 163, 188, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B22
PATCH(OC22 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 217, 242, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B23
PATCH(OC23 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 270, 295, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B24
PATCH(OC24 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 323, 348, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B25
PATCH(OC25 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 376, 401, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B26
PATCH(OC26 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 429, 454, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B27
PATCH(OC27 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 483, 508, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B28
PATCH(OC28 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 537, 562, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B29
PATCH(OC29 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 591, 616, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B30
PATCH(OC30 ,VOLUME, 1, 2, 57, 89, 645, 670, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B31
PATCH(OC31 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 55, 80, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B32
PATCH(OC32 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 109, 134, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B33
PATCH(OC33 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 163, 188, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B34
PATCH(OC34 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 217, 242, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B35
PATCH(OC35 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 270, 295, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B36
PATCH(OC36 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 323, 348, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B37

PATCH(OC37 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 376, 401, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B38

PATCH(OC38 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 429, 454, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B39

PATCH(OC39 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 483, 508, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B40

PATCH(OC40 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 537, 562, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B41

PATCH(OC41 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 591, 616, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B42

PATCH(OC42 ,VOLUME, 1, 2, 168, 181, 645, 670, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B43

PATCH(OC43 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 55, 80, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B44

PATCH(OC44 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 109, 134, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B45

PATCH(OC45 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 163, 188, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B46

PATCH(OC46 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 217, 242, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B47

PATCH(OC47 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 270, 295, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B48

PATCH(OC48 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 323, 348, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B49

PATCH(OC49 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 376, 401, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B50

PATCH(OC50 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 429, 454, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B51

PATCH(OC51 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 483, 508, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B52

PATCH(OC52 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 537, 562, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B53

PATCH(OC53 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 591, 616, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B54

PATCH(OC54 ,VOLUME, 1, 2, 212, 222, 645, 670, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B55

PATCH(OC55 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 55, 80, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B56

PATCH(OC56 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 109, 134, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B57

PATCH(OC57 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 163, 188, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B58

PATCH(OC58 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 217, 242, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B59

PATCH(OC59 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 270, 295, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B60

PATCH(OC60 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 323, 348, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B61

PATCH(OC61 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 376, 401, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B62

PATCH(OC62 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 429, 454, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B63

PATCH(OC63 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 483, 508, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B64

PATCH(OC64 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 537, 562, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B65

PATCH(OC65 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 591, 616, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B66

PATCH(OC66 ,VOLUME, 1, 2, 265, 273, 645, 670, 1, 1)

XCYCLE = F

EGWF = F

Group 14. Downstream Pressure For PARAB

Group 15. Terminate Sweeps

LSWEEP = 800 ;ISWC1 = 1

LITHYD = 1 ;LITFLX = 1 ;LITC = 1 ;ITHC1 =

1

SELREF = T

RESFAC = 1.000000E-04

Group 16. Terminate Iterations

LITER (TEM1) = 20

```

ENDIT (TEM1) = 1.000000E-03
---
Group 17. Relaxation
RELAX(U1 ,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(V1 ,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(W1 ,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(PRPS,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(CAPA,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(QTOT,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(AREA,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(QCEL,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(CAMP,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(VOLT,LINRLX,1.000000E+00)
RELAX(TEM1,LINRLX,2.500000E-01)
OVRRLX = 0.000000E+00
EXPERT = F ;NNORSL = F
---
Group 18. Limits
VARMAX(U1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(U1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(V1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(V1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(W1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(W1 ) =-
1.000000E+06
VARMAX(PRPS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(PRPS) =-
1.000000E+10
VARMAX(CAPA) = 1.000000E+10 ;VARMIN(CAPA) =-
1.000000E+10
VARMAX(QTOT) = 1.000000E+10 ;VARMIN(QTOT) =-
1.000000E+10
VARMAX(AREA) = 1.000000E+10 ;VARMIN(AREA) =-
1.000000E+10
VARMAX(QCEL) = 1.000000E+10 ;VARMIN(QCEL) =-
1.000000E+10
VARMAX(CAMP) = 1.000000E+10 ;VARMIN(CAMP) =-
1.000000E+10
VARMAX(VOLT) = 1.000000E+10 ;VARMIN(VOLT) =-
1.000000E+10
VARMAX(TEM1) = 3.000000E+03 ;VARMIN(TEM1) =-
2.047500E+02
---
Group 19. Data transmitted to GROUND
USEGRD = T ;USEGRX = T
PARSOL = F
CONWIZ = T
ISG21 = 400
ISG50 = 2
SPEDAT(SET,DOMAIN,PHASE_1_MAT,I,43)
SPEDAT(SET,OUTPUT,TECPLOT,C,YES)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1,C,GROUNDL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,GROUNDL,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1_S,C,GROUNDL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1_H,C,GROUNDL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SENS,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_S,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_N,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_L,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2_H,C,SENS)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB3,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SH,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB3_S,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB3_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB3_N,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB3_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB3_L,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB3_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB3_H,C,SH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB3_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SL,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_S,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_N,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_L,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4_H,C,SL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5,C,GROUNDH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,GROUNDH,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5_S,C,GROUNDH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5_L,C,GROUNDH)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,SSUP,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6_S,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6_N,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6_N,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6_L,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6_H,C,SSUP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,GROUNDSU,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_S,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_S,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_L,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_L,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7_H,C,GROUNDSU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7_H,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8,C,CPVC1)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,CPVC1,MATERIAL,R,4.10000E+01)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC8,C,CPVC1)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC8,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB9,C,CPVC2)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB9,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,CPVC2,MATERIAL,R,4.10000E+01)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC9,C,CPVC2)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC9,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB10,C,CPVC3)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB10,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,CPVC3,MATERIAL,R,4.10000E+01)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC10,C,CPVC3)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC10,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB11,C,CPVC4)

```

SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB11,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,CPVC4,MATERIAL,R,4.10000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC11,C,CPVC4)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC11,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB12,C,CPVC5)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB12,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,CPVC5,MATERIAL,R,4.10000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC12,C,CPVC5)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC12,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB13,C,CPVC6)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB13,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,CPVC6,MATERIAL,R,4.10000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC13,C,CPVC6)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC13,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB14,C,CPVC7)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB14,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,CPVC7,MATERIAL,R,4.10000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC14,C,CPVC7)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC14,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB15,C,BOLHA)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB15,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,BOLHA,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC15,C,BOLHA)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC15,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB16,C,BOLHA2)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB16,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,BOLHA2,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC16,C,BOLHA2)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC16,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB17,C,BOLHA3)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB17,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,BOLHA3,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC17,C,BOLHA3)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC17,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB18,C,BOLHA4)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB18,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,BOLHA4,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC18,C,BOLHA4)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC18,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB19,C,B19)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB19,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B19,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC19,C,B19)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC19,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB20,C,B20)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB20,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B20,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC20,C,B20)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC20,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB21,C,B21)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB21,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B21,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC21,C,B21)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC21,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB22,C,B22)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB22,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B22,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC22,C,B22)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC22,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB23,C,B23)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB23,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B23,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC23,C,B23)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC23,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB24,C,B24)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB24,C,BLOCKAGE)

SPEDAT(SET,B24,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC24,C,B24)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC24,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB25,C,B25)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB25,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B25,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC25,C,B25)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC25,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB26,C,B26)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB26,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B26,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC26,C,B26)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC26,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB27,C,B27)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB27,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B27,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC27,C,B27)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC27,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB28,C,B28)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB28,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B28,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC28,C,B28)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC28,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB29,C,B29)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB29,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B29,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC29,C,B29)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC29,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB30,C,B30)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB30,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B30,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC30,C,B30)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC30,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB31,C,B31)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB31,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B31,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC31,C,B31)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC31,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB32,C,B32)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB32,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B32,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC32,C,B32)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC32,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB33,C,B33)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB33,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B33,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC33,C,B33)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC33,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB34,C,B34)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB34,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B34,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC34,C,B34)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC34,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB35,C,B35)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB35,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B35,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC35,C,B35)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC35,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB36,C,B36)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB36,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B36,MATERIAL,R,4.00000E+01)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC36,C,B36)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC36,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB37,C,B37)
 SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB37,C,BLOCKAGE)
 SPEDAT(SET,B37,MATERIAL,R,4.00000E+01)


```

SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB64,C,B64)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB64,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B64,MATERIAL,R,4.00000E+01)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC64,C,B64)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC64,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB65,C,B65)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB65,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B65,MATERIAL,R,4.00000E+01)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC65,C,B65)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC65,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB66,C,B66)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB66,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B66,MATERIAL,R,4.00000E+01)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC66,C,B66)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC66,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,FACETDAT,NUMOBJ,I,66)
SPEDAT(SET,MATERIAL,198,L,T)
SPEDAT(SET,MATERIAL,41,L,T)
SPEDAT(SET,MATERIAL,40,L,T)
---
Group 20. Preliminary Printout
ECHO = T
---
Group 21. Print-out of Variables
INIFLD = F ;SUBWGR = F
* Y in OUTPUT argument list denotes:
* 1-field 2-correction-eq. monitor 3-selective dumping
* 4-whole-field residual 5-spot-value table 6-residual table
OUTPUT(U1 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(V1 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(W1 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(PRPS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(CAPA,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(QTOT,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(AREA,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(QCEL,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(CAMP,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(VOLT,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(TEM1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
---
Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 3 ;IYMON = 282 ;IZMON = 666
NPRMON = 10000 ;NPRMNT = 1 ;TSTSWP =
10001
UWATCH = F ;USTEER = F
HIGHLO = F
---
Group 23. Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 800 ;NUMCLS = 5
NXPRIN = 1 ;IXPRF = 1 ;IXPRL = 4
NYPRIN = 133 ;IYPRF = 1 ;IYPRL = 665
NZPRIN = 134 ;IZPRF = 1 ;IZPRL = 10000
XZPR = F ;YZPR = F
IPLTF = 1 ;IPLTL = 800 ;NPLT = 40
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
ITABL = 3 ;IPROF = 1
ABSIZ = 5.000000E-01 ;ORSIZ = 4.000000E-01
NTZPRF = 1 ;NCOLPF = 50
ICHR = 2 ;NCOLCO = 45 ;NROWCO = 20
No PATCHes yet used for this Group
---
Group 24. Dumps For Restarts
SAVE = T ;NOWIPE = F
NSAVE =CHAM
*** grid-geometry information ***

```

```

X-coordinates of the cell centres
7.854E-02 2.356E-01 3.927E-01 5.498E-01
Y-coordinates of the cell centres
2.232E-05 6.696E-05 1.116E-04 1.563E-04 2.009E-04
2.455E-04 2.902E-04 3.348E-04 3.795E-04 4.241E-04
4.688E-04 5.134E-04 5.580E-04 6.027E-04 6.473E-04
6.920E-04 7.366E-04 7.813E-04 8.259E-04 8.705E-04
9.152E-04 9.598E-04 1.004E-03 1.049E-03 1.094E-03
1.138E-03 1.183E-03 1.228E-03 1.272E-03 1.317E-03
1.362E-03 1.406E-03 1.451E-03 1.496E-03 1.540E-03
1.585E-03 1.629E-03 1.674E-03 1.719E-03 1.763E-03
1.808E-03 1.853E-03 1.897E-03 1.942E-03 1.987E-03
2.031E-03 2.076E-03 2.121E-03 2.165E-03 2.210E-03
2.254E-03 2.299E-03 2.344E-03 2.388E-03 2.433E-03
2.478E-03 2.523E-03 2.568E-03 2.614E-03 2.659E-03
2.705E-03 2.750E-03 2.795E-03 2.841E-03 2.886E-03
2.932E-03 2.977E-03 3.023E-03 3.068E-03 3.114E-03
3.159E-03 3.205E-03 3.250E-03 3.295E-03 3.341E-03
3.386E-03 3.432E-03 3.477E-03 3.523E-03 3.568E-03
3.614E-03 3.659E-03 3.705E-03 3.750E-03 3.795E-03
3.841E-03 3.886E-03 3.932E-03 3.977E-03 4.022E-03
4.067E-03 4.112E-03 4.157E-03 4.202E-03 4.247E-03
4.292E-03 4.337E-03 4.381E-03 4.426E-03 4.471E-03
4.516E-03 4.561E-03 4.606E-03 4.651E-03 4.696E-03
4.740E-03 4.785E-03 4.830E-03 4.875E-03 4.920E-03
4.965E-03 5.010E-03 5.054E-03 5.099E-03 5.144E-03
5.189E-03 5.234E-03 5.279E-03 5.324E-03 5.369E-03
5.413E-03 5.458E-03 5.503E-03 5.548E-03 5.593E-03
5.638E-03 5.683E-03 5.728E-03 5.772E-03 5.817E-03
5.862E-03 5.907E-03 5.952E-03 5.997E-03 6.042E-03
6.087E-03 6.131E-03 6.176E-03 6.221E-03 6.266E-03
6.311E-03 6.356E-03 6.401E-03 6.446E-03 6.490E-03
6.535E-03 6.580E-03 6.625E-03 6.670E-03 6.715E-03
6.760E-03 6.804E-03 6.849E-03 6.894E-03 6.939E-03
6.984E-03 7.029E-03 7.074E-03 7.119E-03 7.163E-03
7.208E-03 7.253E-03 7.298E-03 7.343E-03 7.388E-03
7.433E-03 7.478E-03 7.523E-03 7.568E-03 7.614E-03
7.659E-03 7.705E-03 7.750E-03 7.795E-03 7.841E-03
7.886E-03 7.932E-03 7.977E-03 8.023E-03 8.068E-03
8.114E-03 8.159E-03 8.205E-03 8.250E-03 8.295E-03
8.341E-03 8.386E-03 8.432E-03 8.477E-03 8.523E-03
8.568E-03 8.614E-03 8.659E-03 8.705E-03 8.750E-03
8.795E-03 8.841E-03 8.886E-03 8.932E-03 8.977E-03
9.023E-03 9.068E-03 9.114E-03 9.159E-03 9.205E-03
9.250E-03 9.295E-03 9.341E-03 9.386E-03 9.432E-03
9.477E-03 9.523E-03 9.568E-03 9.613E-03 9.658E-03
9.704E-03 9.749E-03 9.794E-03 9.840E-03 9.885E-03
9.930E-03 9.975E-03 1.002E-02 1.007E-02 1.011E-02
1.016E-02 1.020E-02 1.025E-02 1.029E-02 1.034E-02
1.038E-02 1.043E-02 1.047E-02 1.052E-02 1.056E-02
1.061E-02 1.065E-02 1.070E-02 1.075E-02 1.079E-02
1.084E-02 1.088E-02 1.093E-02 1.097E-02 1.102E-02
1.106E-02 1.111E-02 1.115E-02 1.120E-02 1.124E-02
1.129E-02 1.133E-02 1.138E-02 1.142E-02 1.147E-02
1.152E-02 1.156E-02 1.161E-02 1.165E-02 1.170E-02
1.174E-02 1.179E-02 1.183E-02 1.188E-02 1.192E-02
1.197E-02 1.201E-02 1.206E-02 1.211E-02 1.215E-02
1.220E-02 1.224E-02 1.229E-02 1.234E-02 1.238E-02
1.243E-02 1.247E-02 1.252E-02 1.256E-02 1.261E-02
1.266E-02 1.270E-02 1.275E-02 1.279E-02 1.284E-02
1.289E-02 1.293E-02 1.298E-02 1.302E-02 1.307E-02
1.311E-02 1.316E-02 1.320E-02 1.325E-02 1.330E-02
1.334E-02 1.339E-02 1.343E-02 1.348E-02 1.352E-02
1.357E-02 1.361E-02 1.366E-02 1.370E-02 1.375E-02
1.380E-02 1.384E-02 1.389E-02 1.393E-02 1.398E-02
1.402E-02 1.407E-02 1.411E-02 1.416E-02 1.420E-02

```

1.425E-02	1.430E-02	1.434E-02	1.439E-02	1.443E-02	2.911E-02	2.916E-02	2.920E-02	2.925E-02	2.930E-02
1.448E-02	1.452E-02	1.457E-02	1.461E-02	1.466E-02	2.934E-02	2.939E-02	2.943E-02	2.948E-02	2.952E-02
1.470E-02	1.475E-02	1.480E-02	1.484E-02	1.489E-02	2.957E-02	2.961E-02	2.966E-02	2.970E-02	2.975E-02
1.493E-02	1.498E-02	1.502E-02	1.507E-02	1.511E-02	2.980E-02	2.984E-02	2.989E-02	2.993E-02	2.998E-02
1.516E-02	1.520E-02	1.525E-02	1.529E-02	1.534E-02	Z-coordinates of the cell centres				
1.538E-02	1.543E-02	1.547E-02	1.552E-02	1.556E-02	9.615E-05	2.885E-04	4.808E-04	6.731E-04	8.654E-04
1.561E-02	1.565E-02	1.570E-02	1.574E-02	1.579E-02	1.058E-03	1.250E-03	1.442E-03	1.635E-03	1.827E-03
1.583E-02	1.588E-02	1.592E-02	1.597E-02	1.602E-02	2.019E-03	2.212E-03	2.404E-03	2.596E-03	2.788E-03
1.606E-02	1.611E-02	1.615E-02	1.620E-02	1.624E-02	2.981E-03	3.173E-03	3.365E-03	3.558E-03	3.750E-03
1.629E-02	1.633E-02	1.638E-02	1.642E-02	1.647E-02	3.942E-03	4.135E-03	4.327E-03	4.519E-03	4.712E-03
1.651E-02	1.656E-02	1.660E-02	1.665E-02	1.669E-02	4.904E-03	5.097E-03	5.290E-03	5.484E-03	5.677E-03
1.674E-02	1.678E-02	1.683E-02	1.687E-02	1.692E-02	5.871E-03	6.064E-03	6.257E-03	6.451E-03	6.644E-03
1.696E-02	1.701E-02	1.705E-02	1.710E-02	1.714E-02	6.838E-03	7.031E-03	7.225E-03	7.418E-03	7.612E-03
1.719E-02	1.723E-02	1.728E-02	1.732E-02	1.737E-02	7.805E-03	7.999E-03	8.192E-03	8.385E-03	8.579E-03
1.741E-02	1.746E-02	1.750E-02	1.755E-02	1.759E-02	8.772E-03	8.966E-03	9.159E-03	9.353E-03	9.546E-03
1.764E-02	1.768E-02	1.773E-02	1.777E-02	1.782E-02	9.740E-03	9.933E-03	1.013E-02	1.032E-02	1.051E-02
1.786E-02	1.791E-02	1.795E-02	1.800E-02	1.805E-02	1.071E-02	1.090E-02	1.109E-02	1.128E-02	1.147E-02
1.809E-02	1.814E-02	1.818E-02	1.823E-02	1.827E-02	1.167E-02	1.186E-02	1.205E-02	1.224E-02	1.244E-02
1.832E-02	1.836E-02	1.841E-02	1.845E-02	1.850E-02	1.263E-02	1.282E-02	1.301E-02	1.321E-02	1.340E-02
1.854E-02	1.859E-02	1.863E-02	1.868E-02	1.872E-02	1.359E-02	1.378E-02	1.397E-02	1.417E-02	1.436E-02
1.877E-02	1.881E-02	1.886E-02	1.890E-02	1.895E-02	1.455E-02	1.474E-02	1.494E-02	1.513E-02	1.532E-02
1.899E-02	1.904E-02	1.908E-02	1.913E-02	1.917E-02	1.551E-02	1.571E-02	1.590E-02	1.609E-02	1.629E-02
1.922E-02	1.926E-02	1.931E-02	1.935E-02	1.940E-02	1.648E-02	1.667E-02	1.687E-02	1.706E-02	1.725E-02
1.944E-02	1.949E-02	1.953E-02	1.958E-02	1.962E-02	1.745E-02	1.764E-02	1.783E-02	1.803E-02	1.822E-02
1.967E-02	1.971E-02	1.976E-02	1.980E-02	1.985E-02	1.842E-02	1.861E-02	1.880E-02	1.900E-02	1.919E-02
1.989E-02	1.994E-02	1.998E-02	2.003E-02	2.008E-02	1.938E-02	1.958E-02	1.977E-02	1.996E-02	2.016E-02
2.012E-02	2.017E-02	2.021E-02	2.026E-02	2.030E-02	2.035E-02	2.054E-02	2.074E-02	2.093E-02	2.112E-02
2.035E-02	2.039E-02	2.044E-02	2.048E-02	2.053E-02	2.131E-02	2.151E-02	2.170E-02	2.189E-02	2.208E-02
2.057E-02	2.062E-02	2.066E-02	2.071E-02	2.075E-02	2.228E-02	2.247E-02	2.266E-02	2.285E-02	2.304E-02
2.080E-02	2.084E-02	2.089E-02	2.093E-02	2.098E-02	2.324E-02	2.343E-02	2.362E-02	2.381E-02	2.401E-02
2.102E-02	2.107E-02	2.111E-02	2.116E-02	2.120E-02	2.420E-02	2.439E-02	2.458E-02	2.478E-02	2.497E-02
2.125E-02	2.129E-02	2.134E-02	2.138E-02	2.143E-02	2.516E-02	2.535E-02	2.554E-02	2.574E-02	2.593E-02
2.147E-02	2.152E-02	2.156E-02	2.161E-02	2.165E-02	2.612E-02	2.632E-02	2.651E-02	2.670E-02	2.690E-02
2.170E-02	2.174E-02	2.179E-02	2.183E-02	2.188E-02	2.709E-02	2.728E-02	2.748E-02	2.767E-02	2.786E-02
2.192E-02	2.197E-02	2.201E-02	2.206E-02	2.210E-02	2.806E-02	2.825E-02	2.844E-02	2.864E-02	2.883E-02
2.215E-02	2.219E-02	2.224E-02	2.228E-02	2.233E-02	2.903E-02	2.922E-02	2.941E-02	2.961E-02	2.980E-02
2.237E-02	2.242E-02	2.246E-02	2.251E-02	2.255E-02	2.999E-02	3.019E-02	3.038E-02	3.057E-02	3.077E-02
2.260E-02	2.264E-02	2.269E-02	2.273E-02	2.278E-02	3.096E-02	3.115E-02	3.135E-02	3.154E-02	3.173E-02
2.282E-02	2.287E-02	2.291E-02	2.296E-02	2.300E-02	3.192E-02	3.212E-02	3.231E-02	3.250E-02	3.269E-02
2.304E-02	2.309E-02	2.313E-02	2.318E-02	2.322E-02	3.288E-02	3.308E-02	3.327E-02	3.346E-02	3.365E-02
2.327E-02	2.331E-02	2.336E-02	2.340E-02	2.345E-02	3.385E-02	3.404E-02	3.423E-02	3.442E-02	3.462E-02
2.349E-02	2.354E-02	2.358E-02	2.363E-02	2.367E-02	3.481E-02	3.500E-02	3.519E-02	3.538E-02	3.558E-02
2.372E-02	2.376E-02	2.381E-02	2.385E-02	2.390E-02	3.577E-02	3.596E-02	3.615E-02	3.635E-02	3.654E-02
2.394E-02	2.399E-02	2.403E-02	2.408E-02	2.412E-02	3.673E-02	3.693E-02	3.712E-02	3.731E-02	3.751E-02
2.417E-02	2.421E-02	2.426E-02	2.430E-02	2.435E-02	3.770E-02	3.789E-02	3.809E-02	3.828E-02	3.847E-02
2.439E-02	2.444E-02	2.448E-02	2.453E-02	2.457E-02	3.867E-02	3.886E-02	3.906E-02	3.925E-02	3.944E-02
2.462E-02	2.466E-02	2.471E-02	2.475E-02	2.480E-02	3.964E-02	3.983E-02	4.002E-02	4.022E-02	4.041E-02
2.484E-02	2.489E-02	2.493E-02	2.498E-02	2.502E-02	4.060E-02	4.080E-02	4.099E-02	4.118E-02	4.138E-02
2.507E-02	2.511E-02	2.516E-02	2.520E-02	2.525E-02	4.157E-02	4.176E-02	4.196E-02	4.215E-02	4.234E-02
2.529E-02	2.534E-02	2.538E-02	2.543E-02	2.547E-02	4.253E-02	4.272E-02	4.292E-02	4.311E-02	4.330E-02
2.552E-02	2.556E-02	2.561E-02	2.565E-02	2.570E-02	4.349E-02	4.369E-02	4.388E-02	4.407E-02	4.426E-02
2.574E-02	2.579E-02	2.583E-02	2.588E-02	2.592E-02	4.446E-02	4.465E-02	4.484E-02	4.503E-02	4.522E-02
2.597E-02	2.601E-02	2.606E-02	2.610E-02	2.615E-02	4.542E-02	4.561E-02	4.580E-02	4.599E-02	4.619E-02
2.619E-02	2.624E-02	2.628E-02	2.633E-02	2.637E-02	4.638E-02	4.657E-02	4.677E-02	4.696E-02	4.716E-02
2.642E-02	2.646E-02	2.651E-02	2.655E-02	2.660E-02	4.736E-02	4.756E-02	4.775E-02	4.795E-02	4.815E-02
2.664E-02	2.669E-02	2.673E-02	2.678E-02	2.682E-02	4.835E-02	4.854E-02	4.874E-02	4.894E-02	4.914E-02
2.687E-02	2.691E-02	2.696E-02	2.700E-02	2.705E-02	4.933E-02	4.953E-02	4.973E-02	4.993E-02	5.012E-02
2.709E-02	2.713E-02	2.718E-02	2.722E-02	2.727E-02	5.032E-02	5.052E-02	5.072E-02	5.091E-02	5.111E-02
2.731E-02	2.736E-02	2.740E-02	2.745E-02	2.749E-02	5.131E-02	5.151E-02	5.170E-02	5.190E-02	5.210E-02
2.754E-02	2.758E-02	2.763E-02	2.767E-02	2.772E-02	5.230E-02	5.250E-02	5.270E-02	5.290E-02	5.310E-02
2.776E-02	2.781E-02	2.785E-02	2.790E-02	2.794E-02	5.330E-02	5.350E-02	5.370E-02	5.390E-02	5.410E-02
2.799E-02	2.803E-02	2.808E-02	2.812E-02	2.817E-02	5.430E-02	5.450E-02	5.470E-02	5.490E-02	5.510E-02
2.821E-02	2.826E-02	2.830E-02	2.835E-02	2.839E-02	5.530E-02	5.550E-02	5.570E-02	5.590E-02	5.610E-02
2.844E-02	2.848E-02	2.853E-02	2.857E-02	2.862E-02	5.630E-02	5.650E-02	5.670E-02	5.690E-02	5.710E-02
2.866E-02	2.871E-02	2.875E-02	2.880E-02	2.884E-02	5.730E-02	5.750E-02	5.770E-02	5.790E-02	5.810E-02
2.889E-02	2.893E-02	2.898E-02	2.902E-02	2.907E-02	5.829E-02	5.849E-02	5.868E-02	5.888E-02	5.908E-02

5.927E-02 5.947E-02 5.966E-02 5.986E-02 6.005E-02
 6.025E-02 6.045E-02 6.064E-02 6.084E-02 6.103E-02
 6.123E-02 6.142E-02 6.162E-02 6.182E-02 6.201E-02
 6.221E-02 6.240E-02 6.260E-02 6.279E-02 6.298E-02
 6.317E-02 6.337E-02 6.356E-02 6.375E-02 6.394E-02
 6.413E-02 6.433E-02 6.452E-02 6.471E-02 6.490E-02
 6.510E-02 6.529E-02 6.548E-02 6.567E-02 6.587E-02
 6.606E-02 6.625E-02 6.644E-02 6.663E-02 6.683E-02
 6.702E-02 6.721E-02 6.740E-02 6.760E-02 6.779E-02
 6.799E-02 6.818E-02 6.837E-02 6.857E-02 6.876E-02
 6.896E-02 6.915E-02 6.935E-02 6.954E-02 6.974E-02
 6.993E-02 7.012E-02 7.032E-02 7.051E-02 7.071E-02
 7.090E-02 7.110E-02 7.130E-02 7.150E-02 7.170E-02
 7.190E-02 7.210E-02 7.230E-02 7.250E-02 7.270E-02
 7.290E-02 7.310E-02 7.330E-02 7.350E-02 7.370E-02
 7.390E-02 7.410E-02 7.430E-02 7.450E-02 7.470E-02
 7.490E-02 7.510E-02 7.530E-02 7.550E-02 7.570E-02
 7.590E-02 7.610E-02 7.630E-02 7.650E-02 7.670E-02
 7.690E-02 7.710E-02 7.730E-02 7.749E-02 7.769E-02
 7.789E-02 7.809E-02 7.829E-02 7.848E-02 7.868E-02
 7.888E-02 7.908E-02 7.928E-02 7.947E-02 7.967E-02
 7.987E-02 8.007E-02 8.027E-02 8.046E-02 8.066E-02
 8.086E-02 8.106E-02 8.126E-02 8.145E-02 8.165E-02
 8.185E-02 8.205E-02 8.224E-02 8.244E-02 8.264E-02
 8.284E-02 8.304E-02 8.323E-02 8.343E-02 8.362E-02
 8.381E-02 8.401E-02 8.420E-02 8.439E-02 8.458E-02
 8.478E-02 8.497E-02 8.516E-02 8.535E-02 8.554E-02
 8.574E-02 8.593E-02 8.612E-02 8.631E-02 8.651E-02
 8.670E-02 8.689E-02 8.708E-02 8.728E-02 8.747E-02
 8.766E-02 8.785E-02 8.804E-02 8.824E-02 8.843E-02
 8.862E-02 8.882E-02 8.901E-02 8.920E-02 8.940E-02
 8.959E-02 8.978E-02 8.998E-02 9.017E-02 9.036E-02
 9.056E-02 9.075E-02 9.094E-02 9.114E-02 9.133E-02
 9.153E-02 9.172E-02 9.191E-02 9.211E-02 9.230E-02
 9.249E-02 9.269E-02 9.288E-02 9.307E-02 9.327E-02
 9.346E-02 9.365E-02 9.385E-02 9.404E-02 9.423E-02
 9.442E-02 9.462E-02 9.481E-02 9.500E-02 9.519E-02
 9.538E-02 9.558E-02 9.577E-02 9.596E-02 9.615E-02
 9.635E-02 9.654E-02 9.673E-02 9.692E-02 9.712E-02
 9.731E-02 9.750E-02 9.769E-02 9.788E-02 9.808E-02
 9.827E-02 9.846E-02 9.865E-02 9.885E-02 9.904E-02
 9.923E-02 9.943E-02 9.962E-02 9.981E-02 1.000E-01
 1.002E-01 1.004E-01 1.006E-01 1.008E-01 1.010E-01
 1.012E-01 1.014E-01 1.016E-01 1.017E-01 1.019E-01
 1.021E-01 1.023E-01 1.025E-01 1.027E-01 1.029E-01
 1.031E-01 1.033E-01 1.035E-01 1.037E-01 1.039E-01
 1.041E-01 1.043E-01 1.045E-01 1.046E-01 1.048E-01
 1.050E-01 1.052E-01 1.054E-01 1.056E-01 1.058E-01
 1.060E-01 1.062E-01 1.064E-01 1.066E-01 1.068E-01
 1.070E-01 1.071E-01 1.073E-01 1.075E-01 1.077E-01
 1.079E-01 1.081E-01 1.083E-01 1.085E-01 1.087E-01
 1.089E-01 1.091E-01 1.093E-01 1.095E-01 1.097E-01
 1.098E-01 1.100E-01 1.102E-01 1.104E-01 1.106E-01
 1.108E-01 1.110E-01 1.112E-01 1.114E-01 1.116E-01
 1.118E-01 1.120E-01 1.122E-01 1.124E-01 1.126E-01
 1.127E-01 1.129E-01 1.131E-01 1.133E-01 1.135E-01
 1.137E-01 1.139E-01 1.141E-01 1.143E-01 1.145E-01
 1.147E-01 1.149E-01 1.151E-01 1.153E-01 1.154E-01
 1.156E-01 1.158E-01 1.160E-01 1.162E-01 1.164E-01
 1.166E-01 1.168E-01 1.170E-01 1.172E-01 1.174E-01
 1.176E-01 1.178E-01 1.179E-01 1.181E-01 1.183E-01
 1.185E-01 1.187E-01 1.189E-01 1.191E-01 1.193E-01
 1.195E-01 1.197E-01 1.199E-01 1.201E-01 1.203E-01
 1.205E-01 1.206E-01 1.208E-01 1.210E-01 1.212E-01
 1.214E-01 1.216E-01 1.218E-01 1.220E-01 1.222E-01
 1.224E-01 1.226E-01 1.228E-01 1.230E-01 1.232E-01

1.234E-01 1.235E-01 1.237E-01 1.239E-01 1.241E-01
 1.243E-01 1.245E-01 1.247E-01 1.249E-01 1.251E-01
 1.253E-01 1.255E-01 1.257E-01 1.259E-01 1.261E-01
 1.263E-01 1.264E-01 1.266E-01 1.268E-01 1.270E-01
 1.272E-01 1.274E-01 1.276E-01 1.278E-01 1.280E-01
 1.282E-01 1.284E-01 1.286E-01 1.288E-01 1.289E-01
 1.291E-01 1.293E-01 1.295E-01 1.297E-01 1.299E-01

X-coordinates of the (higher) cell faces

1.571E-01 3.141E-01 4.712E-01 6.283E-01

Y-coordinates of the (higher) cell faces

4.464E-05 8.929E-05 1.339E-04 1.786E-04 2.232E-04
 2.679E-04 3.125E-04 3.571E-04 4.018E-04 4.464E-04
 4.911E-04 5.357E-04 5.804E-04 6.250E-04 6.696E-04
 7.143E-04 7.589E-04 8.036E-04 8.482E-04 8.929E-04
 9.375E-04 9.821E-04 1.027E-03 1.071E-03 1.116E-03
 1.161E-03 1.205E-03 1.250E-03 1.295E-03 1.339E-03
 1.384E-03 1.429E-03 1.473E-03 1.518E-03 1.563E-03
 1.607E-03 1.652E-03 1.696E-03 1.741E-03 1.786E-03
 1.830E-03 1.875E-03 1.920E-03 1.964E-03 2.009E-03
 2.054E-03 2.098E-03 2.143E-03 2.188E-03 2.232E-03
 2.277E-03 2.321E-03 2.366E-03 2.411E-03 2.455E-03
 2.500E-03 2.545E-03 2.591E-03 2.636E-03 2.682E-03
 2.727E-03 2.773E-03 2.818E-03 2.864E-03 2.909E-03
 2.955E-03 3.000E-03 3.045E-03 3.091E-03 3.136E-03
 3.182E-03 3.227E-03 3.273E-03 3.318E-03 3.364E-03
 3.409E-03 3.455E-03 3.500E-03 3.545E-03 3.591E-03
 3.636E-03 3.682E-03 3.727E-03 3.773E-03 3.818E-03
 3.864E-03 3.909E-03 3.955E-03 4.000E-03 4.045E-03
 4.090E-03 4.135E-03 4.179E-03 4.224E-03 4.269E-03
 4.314E-03 4.359E-03 4.404E-03 4.449E-03 4.494E-03
 4.538E-03 4.583E-03 4.628E-03 4.673E-03 4.718E-03
 4.763E-03 4.808E-03 4.853E-03 4.897E-03 4.942E-03
 4.987E-03 5.032E-03 5.077E-03 5.122E-03 5.167E-03
 5.212E-03 5.256E-03 5.301E-03 5.346E-03 5.391E-03
 5.436E-03 5.481E-03 5.526E-03 5.571E-03 5.615E-03
 5.660E-03 5.705E-03 5.750E-03 5.795E-03 5.840E-03
 5.885E-03 5.929E-03 5.974E-03 6.019E-03 6.064E-03
 6.109E-03 6.154E-03 6.199E-03 6.244E-03 6.288E-03
 6.333E-03 6.378E-03 6.423E-03 6.468E-03 6.513E-03
 6.558E-03 6.603E-03 6.647E-03 6.692E-03 6.737E-03
 6.782E-03 6.827E-03 6.872E-03 6.917E-03 6.962E-03
 7.006E-03 7.051E-03 7.096E-03 7.141E-03 7.186E-03
 7.231E-03 7.276E-03 7.321E-03 7.365E-03 7.410E-03
 7.455E-03 7.500E-03 7.545E-03 7.591E-03 7.636E-03
 7.682E-03 7.727E-03 7.773E-03 7.818E-03 7.864E-03
 7.909E-03 7.955E-03 8.000E-03 8.045E-03 8.091E-03
 8.136E-03 8.182E-03 8.227E-03 8.273E-03 8.318E-03
 8.364E-03 8.409E-03 8.455E-03 8.500E-03 8.545E-03
 8.591E-03 8.636E-03 8.682E-03 8.727E-03 8.773E-03
 8.818E-03 8.864E-03 8.909E-03 8.955E-03 9.000E-03
 9.045E-03 9.091E-03 9.136E-03 9.182E-03 9.227E-03
 9.273E-03 9.318E-03 9.364E-03 9.409E-03 9.455E-03
 9.500E-03 9.545E-03 9.591E-03 9.636E-03 9.681E-03
 9.726E-03 9.772E-03 9.817E-03 9.862E-03 9.908E-03
 9.953E-03 9.998E-03 1.004E-02 1.009E-02 1.013E-02
 1.018E-02 1.022E-02 1.027E-02 1.032E-02 1.036E-02
 1.041E-02 1.045E-02 1.050E-02 1.054E-02 1.059E-02
 1.063E-02 1.068E-02 1.072E-02 1.077E-02 1.081E-02
 1.086E-02 1.090E-02 1.095E-02 1.099E-02 1.104E-02
 1.108E-02 1.113E-02 1.118E-02 1.122E-02 1.127E-02
 1.131E-02 1.136E-02 1.140E-02 1.145E-02 1.149E-02
 1.154E-02 1.158E-02 1.163E-02 1.167E-02 1.172E-02
 1.176E-02 1.181E-02 1.185E-02 1.190E-02 1.195E-02
 1.199E-02 1.204E-02 1.208E-02 1.213E-02 1.217E-02
 1.222E-02 1.227E-02 1.231E-02 1.236E-02 1.240E-02

1.245E-02 1.250E-02 1.254E-02 1.259E-02 1.263E-02
 1.268E-02 1.272E-02 1.277E-02 1.282E-02 1.286E-02
 1.291E-02 1.295E-02 1.300E-02 1.305E-02 1.309E-02
 1.314E-02 1.318E-02 1.323E-02 1.327E-02 1.332E-02
 1.336E-02 1.341E-02 1.345E-02 1.350E-02 1.355E-02
 1.359E-02 1.364E-02 1.368E-02 1.373E-02 1.377E-02
 1.382E-02 1.386E-02 1.391E-02 1.395E-02 1.400E-02
 1.405E-02 1.409E-02 1.414E-02 1.418E-02 1.423E-02
 1.427E-02 1.432E-02 1.436E-02 1.441E-02 1.445E-02
 1.450E-02 1.455E-02 1.459E-02 1.464E-02 1.468E-02
 1.473E-02 1.477E-02 1.482E-02 1.486E-02 1.491E-02
 1.495E-02 1.500E-02 1.505E-02 1.509E-02 1.514E-02
 1.518E-02 1.523E-02 1.527E-02 1.532E-02 1.536E-02
 1.541E-02 1.545E-02 1.550E-02 1.554E-02 1.559E-02
 1.563E-02 1.568E-02 1.572E-02 1.577E-02 1.581E-02
 1.586E-02 1.590E-02 1.595E-02 1.599E-02 1.604E-02
 1.608E-02 1.613E-02 1.617E-02 1.622E-02 1.626E-02
 1.631E-02 1.635E-02 1.640E-02 1.644E-02 1.649E-02
 1.653E-02 1.658E-02 1.662E-02 1.667E-02 1.671E-02
 1.676E-02 1.680E-02 1.685E-02 1.689E-02 1.694E-02
 1.698E-02 1.703E-02 1.708E-02 1.712E-02 1.717E-02
 1.721E-02 1.726E-02 1.730E-02 1.735E-02 1.739E-02
 1.744E-02 1.748E-02 1.753E-02 1.757E-02 1.762E-02
 1.766E-02 1.771E-02 1.775E-02 1.780E-02 1.784E-02
 1.789E-02 1.793E-02 1.798E-02 1.802E-02 1.807E-02
 1.811E-02 1.816E-02 1.820E-02 1.825E-02 1.829E-02
 1.834E-02 1.838E-02 1.843E-02 1.847E-02 1.852E-02
 1.856E-02 1.861E-02 1.865E-02 1.870E-02 1.874E-02
 1.879E-02 1.883E-02 1.888E-02 1.892E-02 1.897E-02
 1.902E-02 1.906E-02 1.911E-02 1.915E-02 1.920E-02
 1.924E-02 1.929E-02 1.933E-02 1.938E-02 1.942E-02
 1.947E-02 1.951E-02 1.956E-02 1.960E-02 1.965E-02
 1.969E-02 1.974E-02 1.978E-02 1.983E-02 1.987E-02
 1.992E-02 1.996E-02 2.001E-02 2.005E-02 2.010E-02
 2.014E-02 2.019E-02 2.023E-02 2.028E-02 2.032E-02
 2.037E-02 2.041E-02 2.046E-02 2.050E-02 2.055E-02
 2.059E-02 2.064E-02 2.068E-02 2.073E-02 2.077E-02
 2.082E-02 2.086E-02 2.091E-02 2.095E-02 2.100E-02
 2.104E-02 2.109E-02 2.113E-02 2.118E-02 2.122E-02
 2.127E-02 2.131E-02 2.136E-02 2.140E-02 2.145E-02
 2.149E-02 2.154E-02 2.158E-02 2.163E-02 2.167E-02
 2.172E-02 2.176E-02 2.181E-02 2.185E-02 2.190E-02
 2.194E-02 2.199E-02 2.203E-02 2.208E-02 2.212E-02
 2.217E-02 2.221E-02 2.226E-02 2.230E-02 2.235E-02
 2.239E-02 2.244E-02 2.248E-02 2.253E-02 2.257E-02
 2.262E-02 2.266E-02 2.271E-02 2.275E-02 2.280E-02
 2.284E-02 2.289E-02 2.293E-02 2.298E-02 2.302E-02
 2.307E-02 2.311E-02 2.316E-02 2.320E-02 2.325E-02
 2.329E-02 2.334E-02 2.338E-02 2.343E-02 2.347E-02
 2.352E-02 2.356E-02 2.361E-02 2.365E-02 2.370E-02
 2.374E-02 2.379E-02 2.383E-02 2.388E-02 2.392E-02
 2.397E-02 2.401E-02 2.406E-02 2.410E-02 2.415E-02
 2.419E-02 2.424E-02 2.428E-02 2.433E-02 2.437E-02
 2.442E-02 2.446E-02 2.451E-02 2.455E-02 2.460E-02
 2.464E-02 2.469E-02 2.473E-02 2.478E-02 2.482E-02
 2.487E-02 2.491E-02 2.496E-02 2.500E-02 2.505E-02
 2.509E-02 2.513E-02 2.518E-02 2.522E-02 2.527E-02
 2.531E-02 2.536E-02 2.540E-02 2.545E-02 2.549E-02
 2.554E-02 2.558E-02 2.563E-02 2.567E-02 2.572E-02
 2.576E-02 2.581E-02 2.585E-02 2.590E-02 2.594E-02
 2.599E-02 2.603E-02 2.608E-02 2.612E-02 2.617E-02
 2.621E-02 2.626E-02 2.630E-02 2.635E-02 2.639E-02
 2.644E-02 2.648E-02 2.653E-02 2.657E-02 2.662E-02
 2.666E-02 2.671E-02 2.675E-02 2.680E-02 2.684E-02
 2.689E-02 2.693E-02 2.698E-02 2.702E-02 2.707E-02
 2.711E-02 2.716E-02 2.720E-02 2.725E-02 2.729E-02

2.734E-02 2.738E-02 2.743E-02 2.747E-02 2.752E-02
 2.756E-02 2.761E-02 2.765E-02 2.770E-02 2.774E-02
 2.779E-02 2.783E-02 2.788E-02 2.792E-02 2.797E-02
 2.801E-02 2.806E-02 2.810E-02 2.815E-02 2.819E-02
 2.824E-02 2.828E-02 2.833E-02 2.837E-02 2.842E-02
 2.846E-02 2.851E-02 2.855E-02 2.860E-02 2.864E-02
 2.869E-02 2.873E-02 2.878E-02 2.882E-02 2.887E-02
 2.891E-02 2.896E-02 2.900E-02 2.905E-02 2.909E-02
 2.914E-02 2.918E-02 2.923E-02 2.927E-02 2.932E-02
 2.936E-02 2.941E-02 2.945E-02 2.950E-02 2.955E-02
 2.959E-02 2.964E-02 2.968E-02 2.973E-02 2.977E-02
 2.982E-02 2.986E-02 2.991E-02 2.995E-02 3.000E-02

Z-coordinates of the (higher) cell faces

1.923E-04 3.846E-04 5.769E-04 7.692E-04 9.615E-04
 1.154E-03 1.346E-03 1.538E-03 1.731E-03 1.923E-03
 2.115E-03 2.308E-03 2.500E-03 2.692E-03 2.885E-03
 3.077E-03 3.269E-03 3.462E-03 3.654E-03 3.846E-03
 4.038E-03 4.231E-03 4.423E-03 4.615E-03 4.808E-03
 5.000E-03 5.193E-03 5.387E-03 5.580E-03 5.774E-03
 5.967E-03 6.161E-03 6.354E-03 6.548E-03 6.741E-03
 6.935E-03 7.128E-03 7.321E-03 7.515E-03 7.708E-03
 7.902E-03 8.095E-03 8.289E-03 8.482E-03 8.676E-03
 8.869E-03 9.063E-03 9.256E-03 9.449E-03 9.643E-03
 9.836E-03 1.003E-02 1.022E-02 1.042E-02 1.061E-02
 1.080E-02 1.099E-02 1.119E-02 1.138E-02 1.157E-02
 1.176E-02 1.196E-02 1.215E-02 1.234E-02 1.253E-02
 1.272E-02 1.292E-02 1.311E-02 1.330E-02 1.349E-02
 1.369E-02 1.388E-02 1.407E-02 1.426E-02 1.446E-02
 1.465E-02 1.484E-02 1.503E-02 1.522E-02 1.542E-02
 1.561E-02 1.580E-02 1.600E-02 1.619E-02 1.638E-02
 1.658E-02 1.677E-02 1.696E-02 1.716E-02 1.735E-02
 1.754E-02 1.774E-02 1.793E-02 1.813E-02 1.832E-02
 1.851E-02 1.871E-02 1.890E-02 1.909E-02 1.929E-02
 1.948E-02 1.967E-02 1.987E-02 2.006E-02 2.025E-02
 2.045E-02 2.064E-02 2.083E-02 2.103E-02 2.122E-02
 2.141E-02 2.160E-02 2.179E-02 2.199E-02 2.218E-02
 2.237E-02 2.256E-02 2.276E-02 2.295E-02 2.314E-02
 2.333E-02 2.353E-02 2.372E-02 2.391E-02 2.410E-02
 2.429E-02 2.449E-02 2.468E-02 2.487E-02 2.506E-02
 2.526E-02 2.545E-02 2.564E-02 2.583E-02 2.603E-02
 2.622E-02 2.641E-02 2.661E-02 2.680E-02 2.699E-02
 2.719E-02 2.738E-02 2.757E-02 2.777E-02 2.796E-02
 2.815E-02 2.835E-02 2.854E-02 2.874E-02 2.893E-02
 2.912E-02 2.932E-02 2.951E-02 2.970E-02 2.990E-02
 3.009E-02 3.028E-02 3.048E-02 3.067E-02 3.086E-02
 3.106E-02 3.125E-02 3.144E-02 3.163E-02 3.183E-02
 3.202E-02 3.221E-02 3.240E-02 3.260E-02 3.279E-02
 3.298E-02 3.317E-02 3.337E-02 3.356E-02 3.375E-02
 3.394E-02 3.413E-02 3.433E-02 3.452E-02 3.471E-02
 3.490E-02 3.510E-02 3.529E-02 3.548E-02 3.567E-02
 3.587E-02 3.606E-02 3.625E-02 3.644E-02 3.664E-02
 3.683E-02 3.702E-02 3.722E-02 3.741E-02 3.760E-02
 3.780E-02 3.799E-02 3.818E-02 3.838E-02 3.857E-02
 3.876E-02 3.896E-02 3.915E-02 3.935E-02 3.954E-02
 3.973E-02 3.993E-02 4.012E-02 4.031E-02 4.051E-02
 4.070E-02 4.089E-02 4.109E-02 4.128E-02 4.147E-02
 4.167E-02 4.186E-02 4.205E-02 4.224E-02 4.244E-02
 4.263E-02 4.282E-02 4.301E-02 4.321E-02 4.340E-02
 4.359E-02 4.378E-02 4.397E-02 4.417E-02 4.436E-02
 4.455E-02 4.474E-02 4.494E-02 4.513E-02 4.532E-02
 4.551E-02 4.571E-02 4.590E-02 4.609E-02 4.628E-02
 4.647E-02 4.667E-02 4.686E-02 4.706E-02 4.726E-02
 4.746E-02 4.765E-02 4.785E-02 4.805E-02 4.825E-02
 4.844E-02 4.864E-02 4.884E-02 4.904E-02 4.923E-02
 4.943E-02 4.963E-02 4.983E-02 5.002E-02 5.022E-02
 5.042E-02 5.062E-02 5.081E-02 5.101E-02 5.121E-02

5.141E-02 5.160E-02 5.180E-02 5.200E-02 5.220E-02
5.240E-02 5.260E-02 5.280E-02 5.300E-02 5.320E-02
5.340E-02 5.360E-02 5.380E-02 5.400E-02 5.420E-02
5.440E-02 5.460E-02 5.480E-02 5.500E-02 5.520E-02
5.540E-02 5.560E-02 5.580E-02 5.600E-02 5.620E-02
5.640E-02 5.660E-02 5.680E-02 5.700E-02 5.720E-02
5.740E-02 5.760E-02 5.780E-02 5.800E-02 5.820E-02
5.839E-02 5.859E-02 5.878E-02 5.898E-02 5.917E-02
5.937E-02 5.957E-02 5.976E-02 5.996E-02 6.015E-02
6.035E-02 6.054E-02 6.074E-02 6.093E-02 6.113E-02
6.133E-02 6.152E-02 6.172E-02 6.191E-02 6.211E-02
6.230E-02 6.250E-02 6.269E-02 6.288E-02 6.308E-02
6.327E-02 6.346E-02 6.365E-02 6.385E-02 6.404E-02
6.423E-02 6.442E-02 6.462E-02 6.481E-02 6.500E-02
6.519E-02 6.538E-02 6.558E-02 6.577E-02 6.596E-02
6.615E-02 6.635E-02 6.654E-02 6.673E-02 6.692E-02
6.712E-02 6.731E-02 6.750E-02 6.769E-02 6.789E-02
6.808E-02 6.828E-02 6.847E-02 6.867E-02 6.886E-02
6.906E-02 6.925E-02 6.944E-02 6.964E-02 6.983E-02
7.003E-02 7.022E-02 7.042E-02 7.061E-02 7.081E-02
7.100E-02 7.120E-02 7.140E-02 7.160E-02 7.180E-02
7.200E-02 7.220E-02 7.240E-02 7.260E-02 7.280E-02
7.300E-02 7.320E-02 7.340E-02 7.360E-02 7.380E-02
7.400E-02 7.420E-02 7.440E-02 7.460E-02 7.480E-02
7.500E-02 7.520E-02 7.540E-02 7.560E-02 7.580E-02
7.600E-02 7.620E-02 7.640E-02 7.660E-02 7.680E-02
7.700E-02 7.720E-02 7.740E-02 7.759E-02 7.779E-02
7.799E-02 7.819E-02 7.839E-02 7.858E-02 7.878E-02
7.898E-02 7.918E-02 7.937E-02 7.957E-02 7.977E-02
7.997E-02 8.017E-02 8.036E-02 8.056E-02 8.076E-02
8.096E-02 8.116E-02 8.135E-02 8.155E-02 8.175E-02
8.195E-02 8.215E-02 8.234E-02 8.254E-02 8.274E-02
8.294E-02 8.314E-02 8.333E-02 8.353E-02 8.372E-02
8.391E-02 8.410E-02 8.429E-02 8.449E-02 8.468E-02
8.487E-02 8.506E-02 8.526E-02 8.545E-02 8.564E-02
8.583E-02 8.603E-02 8.622E-02 8.641E-02 8.660E-02
8.679E-02 8.699E-02 8.718E-02 8.737E-02 8.756E-02
8.776E-02 8.795E-02 8.814E-02 8.833E-02 8.853E-02
8.872E-02 8.891E-02 8.911E-02 8.930E-02 8.949E-02
8.969E-02 8.988E-02 9.007E-02 9.027E-02 9.046E-02
9.065E-02 9.085E-02 9.104E-02 9.124E-02 9.143E-02
9.162E-02 9.182E-02 9.201E-02 9.220E-02 9.240E-02
9.259E-02 9.278E-02 9.298E-02 9.317E-02 9.336E-02
9.356E-02 9.375E-02 9.394E-02 9.413E-02 9.433E-02
9.452E-02 9.471E-02 9.490E-02 9.510E-02 9.529E-02
9.548E-02 9.567E-02 9.587E-02 9.606E-02 9.625E-02
9.644E-02 9.663E-02 9.683E-02 9.702E-02 9.721E-02
9.740E-02 9.760E-02 9.779E-02 9.798E-02 9.817E-02
9.837E-02 9.856E-02 9.875E-02 9.894E-02 9.914E-02
9.933E-02 9.952E-02 9.972E-02 9.991E-02 1.001E-01
1.003E-01 1.005E-01 1.007E-01 1.009E-01 1.011E-01
1.013E-01 1.015E-01 1.017E-01 1.018E-01 1.020E-01
1.022E-01 1.024E-01 1.026E-01 1.028E-01 1.030E-01
1.032E-01 1.034E-01 1.036E-01 1.038E-01 1.040E-01
1.042E-01 1.044E-01 1.046E-01 1.047E-01 1.049E-01
1.051E-01 1.053E-01 1.055E-01 1.057E-01 1.059E-01
1.061E-01 1.063E-01 1.065E-01 1.067E-01 1.069E-01
1.071E-01 1.072E-01 1.074E-01 1.076E-01 1.078E-01
1.080E-01 1.082E-01 1.084E-01 1.086E-01 1.088E-01
1.090E-01 1.092E-01 1.094E-01 1.096E-01 1.097E-01
1.099E-01 1.101E-01 1.103E-01 1.105E-01 1.107E-01
1.109E-01 1.111E-01 1.113E-01 1.115E-01 1.117E-01
1.119E-01 1.121E-01 1.123E-01 1.125E-01 1.126E-01
1.128E-01 1.130E-01 1.132E-01 1.134E-01 1.136E-01
1.138E-01 1.140E-01 1.142E-01 1.144E-01 1.146E-01
1.148E-01 1.150E-01 1.152E-01 1.154E-01 1.155E-01

1.157E-01 1.159E-01 1.161E-01 1.163E-01 1.165E-01
1.167E-01 1.169E-01 1.171E-01 1.173E-01 1.175E-01
1.177E-01 1.179E-01 1.180E-01 1.182E-01 1.184E-01
1.186E-01 1.188E-01 1.190E-01 1.192E-01 1.194E-01
1.196E-01 1.198E-01 1.200E-01 1.202E-01 1.204E-01
1.206E-01 1.207E-01 1.209E-01 1.211E-01 1.213E-01
1.215E-01 1.217E-01 1.219E-01 1.221E-01 1.223E-01
1.225E-01 1.227E-01 1.229E-01 1.231E-01 1.233E-01
1.235E-01 1.236E-01 1.238E-01 1.240E-01 1.242E-01
1.244E-01 1.246E-01 1.248E-01 1.250E-01 1.252E-01
1.254E-01 1.256E-01 1.258E-01 1.260E-01 1.262E-01
1.263E-01 1.265E-01 1.267E-01 1.269E-01 1.271E-01
1.273E-01 1.275E-01 1.277E-01 1.279E-01 1.281E-01
1.283E-01 1.285E-01 1.287E-01 1.288E-01 1.290E-01
1.292E-01 1.294E-01 1.296E-01 1.298E-01 1.300E-01

--- INTEGRATION OF EQUATIONS BEGINS ---

Flow field at ITHYD= 1, IZ= 134, ISWEEP= 800, ISTEP= 1

Field Values of U1

IY= 665 none none none
IY= 532 none none none
IY= 399 none none none
IY= 266 0.0 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 0.0 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3

Field Values of V1

IY= 664 none none none none
IY= 531 none none none none
IY= 398 none none none none
IY= 265 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 132 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of W1

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none
IY= 266 0.0 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 0.0 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of PRPS

IY= 665 blockage blockage blockage blockage
IY= 532 blockage blockage blockage blockage
IY= 399 blockage blockage blockage blockage
IY= 266 4.000E+01 4.000E+01 pil prop pil prop
IY= 133 pil prop pil prop pil prop pil prop
IX= 1 2 3 4

Field Values of CAPA

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none
IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of QTOT

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none

IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of AREA

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of QCEL

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of CAMP

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of VOLT

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of TEM1

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 2.040E-03 1.992E-03 1.517E-03 1.487E-03
 IY= 133 1.127E-02 1.117E-02 1.100E-02 1.092E-02
 IX= 1 2 3 4

Flow field at ITHYD= 1, IZ= 268, ISWEEP= 800, ISTEP= 1

Field Values of U1

IY= 665 none none none
 IY= 532 none none none
 IY= 399 none none none
 IY= 266 0.0 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 0.0 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3

Field Values of V1

IY= 664 none none none none
 IY= 531 none none none none
 IY= 398 none none none none
 IY= 265 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 132 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of W1

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none

IY= 399 none none none none
 IY= 266 0.0 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 0.0 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of PRPS

IY= 665 blockage blockage blockage blockage
 IY= 532 blockage blockage blockage blockage
 IY= 399 blockage blockage blockage blockage
 IY= 266 pil prop pil prop pil prop pil prop
 IY= 133 pil prop pil prop pil prop pil prop
 IX= 1 2 3 4

Field Values of CAPA

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of QTOT

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of AREA

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of QCEL

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of CAMP

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of VOLT

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of TEM1

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.756E-01 1.819E-01 2.138E-01 2.190E-01

IY= 133 3.605E-01 3.621E-01 3.647E-01 3.663E-01
IX= 1 2 3 4

Flow field at ITHYD= 1, IZ= 402, ISWEEP= 800, ISTEP= 1

Field Values of U1

IY= 665 none none none
IY= 532 none none none
IY= 399 none none none
IY= 266 0.0 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 0.0 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3

Field Values of V1

IY= 664 none none none none
IY= 531 none none none none
IY= 398 none none none none
IY= 265 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 132 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of W1

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none
IY= 266 0.0 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 0.0 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of PRPS

IY= 665 blockage blockage blockage blockage
IY= 532 blockage blockage blockage blockage
IY= 399 blockage blockage blockage blockage
IY= 266 pil prop pil prop pil prop pil prop
IY= 133 pil prop pil prop pil prop pil prop
IX= 1 2 3 4

Field Values of CAPA

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none
IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of QTOT

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none
IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of AREA

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none
IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of QCEL

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none

IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of CAMP

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none
IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of VOLT

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none
IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of TEM1

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none
IY= 266 1.276E-01 1.283E-01 1.368E-01 1.375E-01
IY= 133 3.338E-01 3.346E-01 3.360E-01 3.368E-01
IX= 1 2 3 4

Flow field at ITHYD= 1, IZ= 536, ISWEEP= 800, ISTEP= 1

Field Values of U1

IY= 665 none none none
IY= 532 none none none
IY= 399 none none none
IY= 266 0.0 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 0.0 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3

Field Values of V1

IY= 664 none none none none
IY= 531 none none none none
IY= 398 none none none none
IY= 265 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 132 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of W1

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none
IY= 399 none none none none
IY= 266 0.0 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IY= 133 0.0 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
IX= 1 2 3 4

Field Values of PRPS

IY= 665 blockage blockage blockage blockage
IY= 532 blockage blockage blockage blockage
IY= 399 blockage blockage blockage blockage
IY= 266 pil prop pil prop pil prop pil prop
IY= 133 pil prop pil prop pil prop pil prop
IX= 1 2 3 4

Field Values of CAPA

IY= 665 none none none none
IY= 532 none none none none

IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of QTOT

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of AREA

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of QCEL

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of CAMP

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of VOLT

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of TEM1

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.670E-03 1.640E-03 1.458E-03 1.433E-03
 IY= 133 1.084E-02 1.076E-02 1.062E-02 1.054E-02
 IX= 1 2 3 4

Flow field at ITHYD= 1, IZ= 670, ISWEEP= 800, ISTEP= 1

Field Values of U1

IY= 665 none none none
 IY= 532 none none none
 IY= 399 none none none
 IY= 266 0.0 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 0.0 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3

Field Values of V1

IY= 664 none none none none

IY= 531 none none none none
 IY= 398 none none none none
 IY= 265 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 132 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of W1

Field Values of PRPS

IY= 665 blockage blockage blockage blockage
 IY= 532 blockage blockage blockage blockage
 IY= 399 blockage blockage blockage blockage
 IY= 266 4.000E+01 4.000E+01 pil prop pil prop
 IY= 133 pil prop pil prop pil prop pil prop
 IX= 1 2 3 4

Field Values of CAPA

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of QTOT

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of AREA

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of QCEL

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of CAMP

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of VOLT

IY= 665 none none none none
 IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IY= 133 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10 1.000E-10
 IX= 1 2 3 4

Field Values of TEM1

IY= 665 none none none none

IY= 532 none none none none
 IY= 399 none none none none
 IY= 266 2.380E-03 2.267E-03 1.360E-03 1.307E-03
 IY= 133 1.066E-02 1.046E-02 1.011E-02 9.930E-03
 IX= 1 2 3 4

IXMON= 3 IYMON= 282 IZMON= 666
 TIMESTEP= 1

 Whole-field residuals before solution
 with resref values determined by EARTH
 & resfac= 1.000000E-04
 variable resref (res sum)/resref (res sum)
 TEM1 3.803E-08 1.981E+06 7.536E-02

Tabulation of abscissa and ordinates...

ISWP TEM1
 1 1.000E-10
 41 1.154E-02
 81 7.777E-03
 121 5.794E-03
 161 4.551E-03
 201 3.698E-03
 241 3.073E-03
 281 2.590E-03
 321 2.203E-03
 361 1.885E-03
 401 1.619E-03
 441 1.393E-03
 481 1.201E-03
 521 1.035E-03
 561 8.933E-04
 601 7.708E-04
 641 6.652E-04
 681 5.740E-04
 721 4.953E-04
 761 4.273E-04
 Variable 1 = TEM1
 Minval= 1.000E-10
 Maxval= 1.154E-02
 Cellav= 2.609E-03
 the abscissa is ISWP. min= 1.00E+00 max= 7.61E+02

 Sources and sinks
 pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum= 0.000000E+00
 nett sum= 0.000000E+00
 Nett source of TEM1 at patch named: OB1_S (GROUNDL)
 =-4.749025E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB1_H (GROUNDL)
 =-6.674164E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB2_S (SENS)=
 3.459570E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB2_N (SENS)=
 3.294242E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB2_L (SENS)=
 1.810315E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB2_H (SENS)=
 1.940254E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB3_S (SH)=
 3.010848E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB3_N (SH)=
 8.835332E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB3_L (SH)=
 2.293269E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB3_H (SH)=
 1.733676E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB4_S (SL)=
 2.947742E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB4_N (SL)=
 8.831038E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB4_L (SL)=
 1.735858E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB4_H (SL)=
 1.998470E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB5_S (GROUNDH)
 =-4.721063E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB5_L (GROUNDH)
 =-6.669353E-02
 Nett source of TEM1 at patch named: OB6_S (SSUP)=
 9.721069E-03
 Nett source of TEM1 at patch named: OB6_N (SSUP)=
 5.586482E+00
 Nett source of TEM1 at patch named: OB6_L (SSUP)=
 1.159940E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB6_H (SSUP)=
 1.159943E-01
 Nett source of TEM1 at patch named: OB7_S
 (GROUNDSU)=-5.753584E+00
 pos. sum= 6.833705E+00 neg. sum=-6.834028E+00
 nett sum=-3.228188E-04

 residuals vs sweep or iteration number

Tabulation of abscissa and ordinates...

ISWP TEM1
 1 1.507E+11
 41 7.700E+07
 81 4.773E+07
 121 3.501E+07
 161 2.754E+07
 201 2.248E+07
 241 1.872E+07
 281 1.577E+07
 321 1.337E+07
 361 1.137E+07
 401 9.682E+06
 441 8.254E+06
 481 7.037E+06
 521 6.000E+06
 561 5.116E+06
 601 4.361E+06
 641 3.718E+06
 681 3.169E+06
 721 2.702E+06
 761 2.304E+06
 Variable 1 = TEM1
 Minval= 1.465E+01
 Maxval= 2.574E+01

 spot values vs sweep or iteration number

APÊNDICE C – DESENHOS MECÂNICOS DOS COMPONENTES DO SENSOR DE IMPEDÂNCIAS ELÉTRICAS

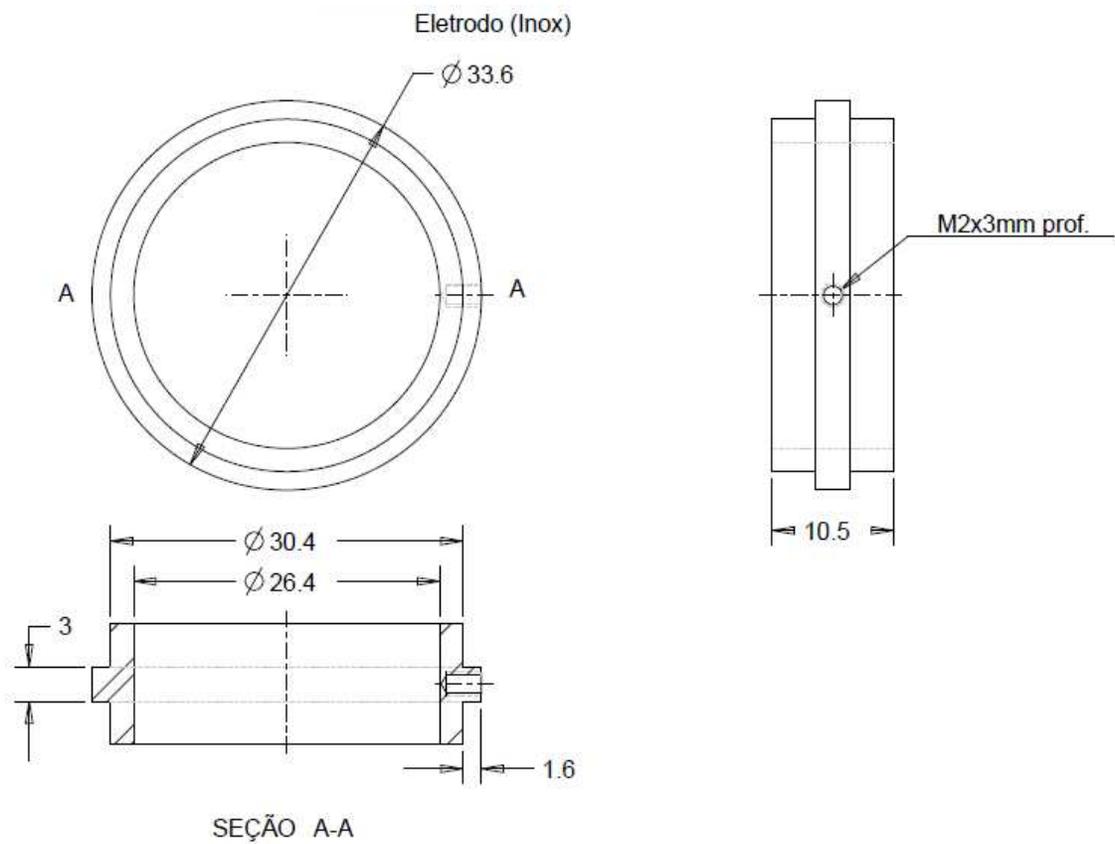


Figura 46 – Eletrodo de anel central.

Anel do Eletrodo (Inox)

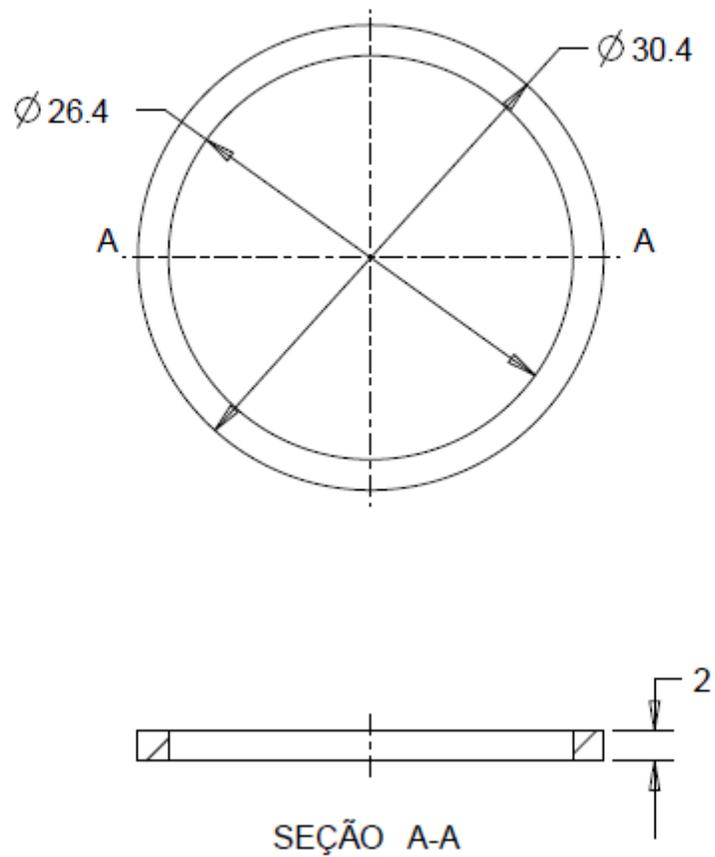


Figura 47 – Eletrodo de anel periférico, duas unidades.

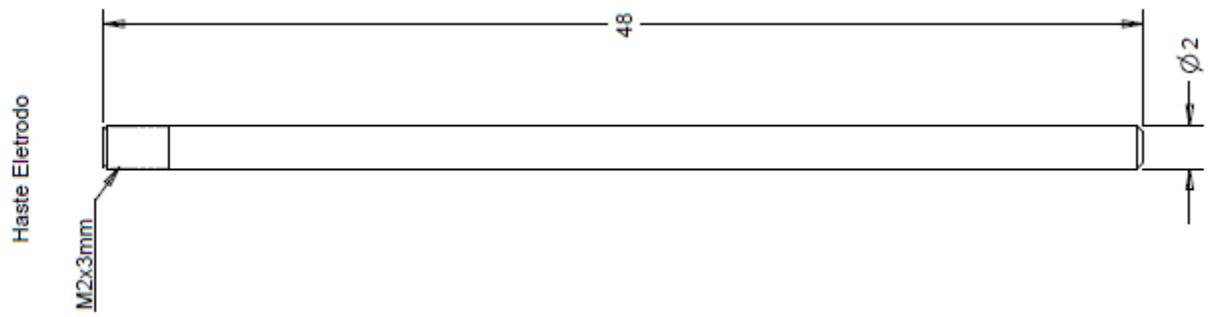


Figura 48 – Haste de conexão entre o anel principal e a alimentação.

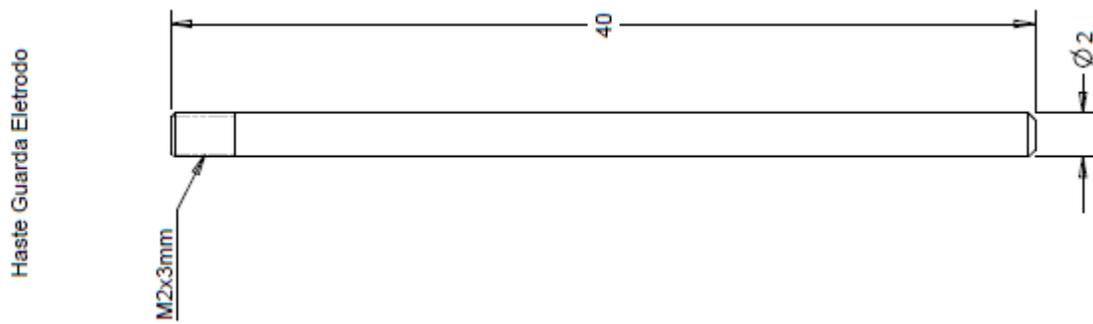


Figura 49 – Haste de conexão entre o eletrodo de guarda e a alimentação.

Isolamento do Eletrodo (PVC)

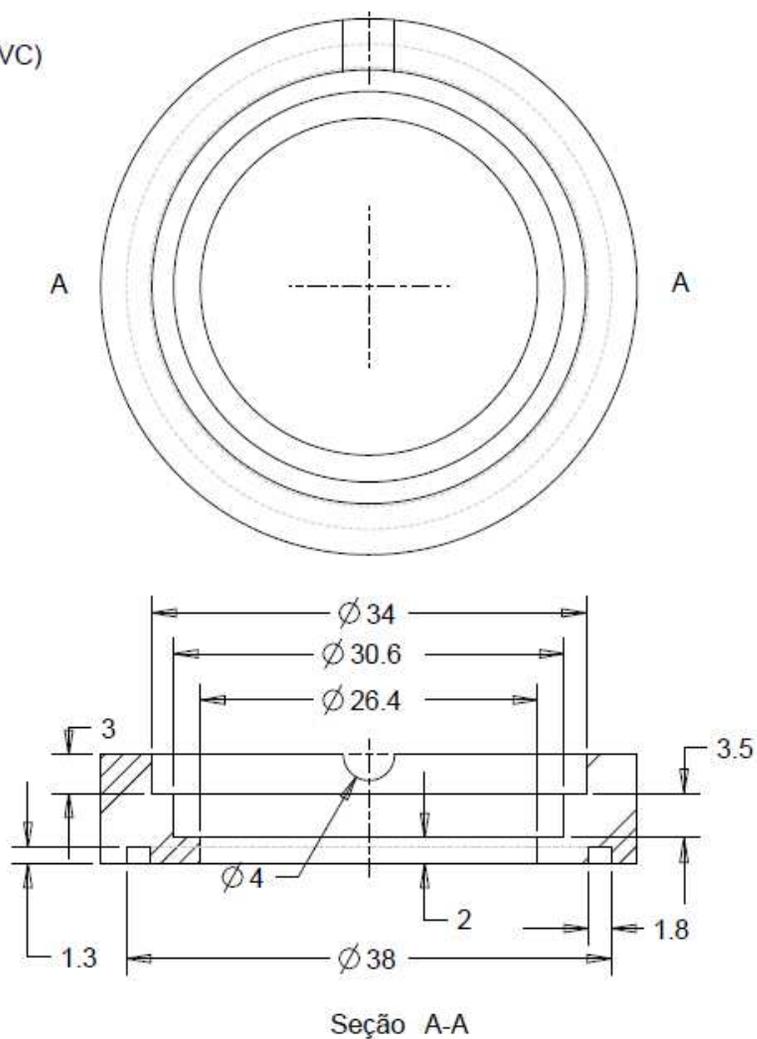


Figura 50 – Isolamento elétrico do eletrodo principal, duas unidades.

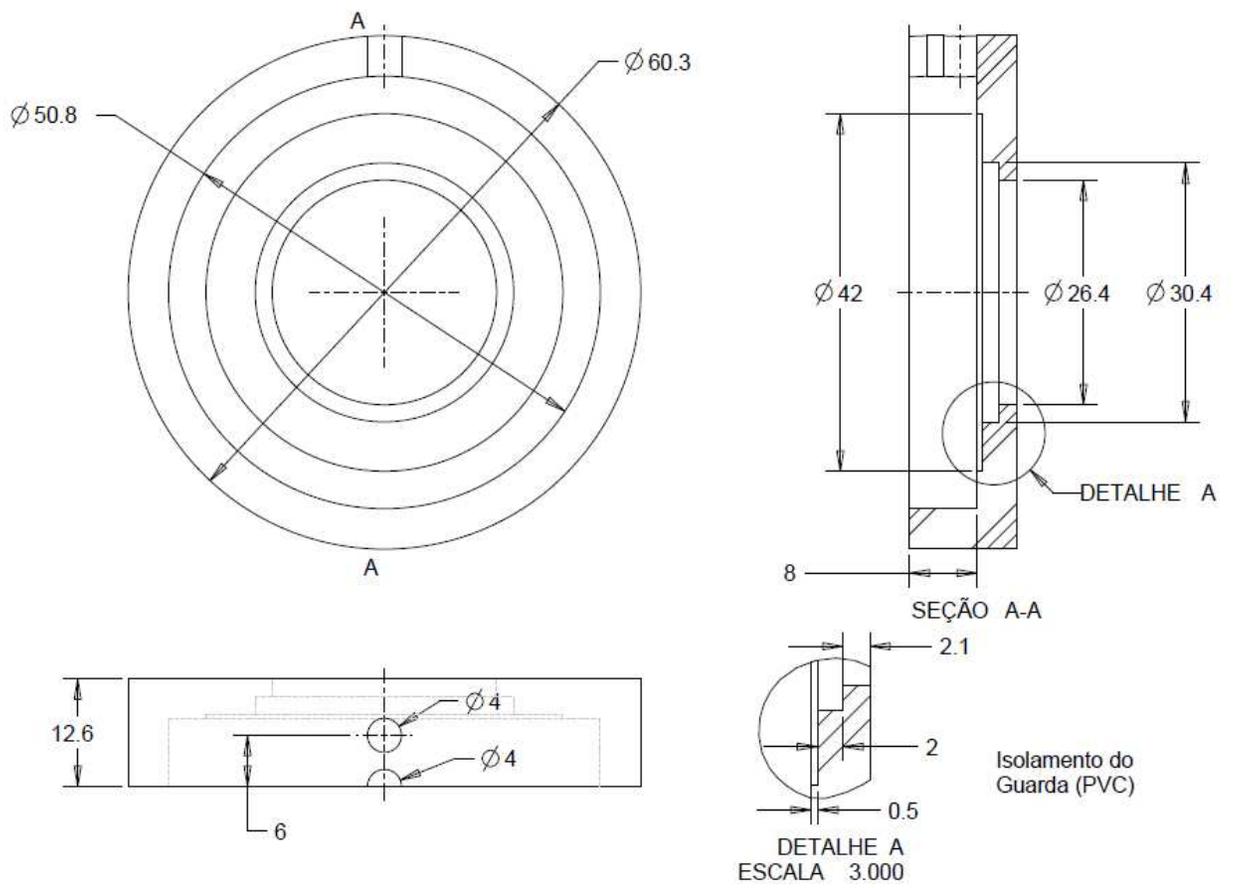


Figura 51 – Isolamento elétrico do eletrodo de guarda, duas unidades.

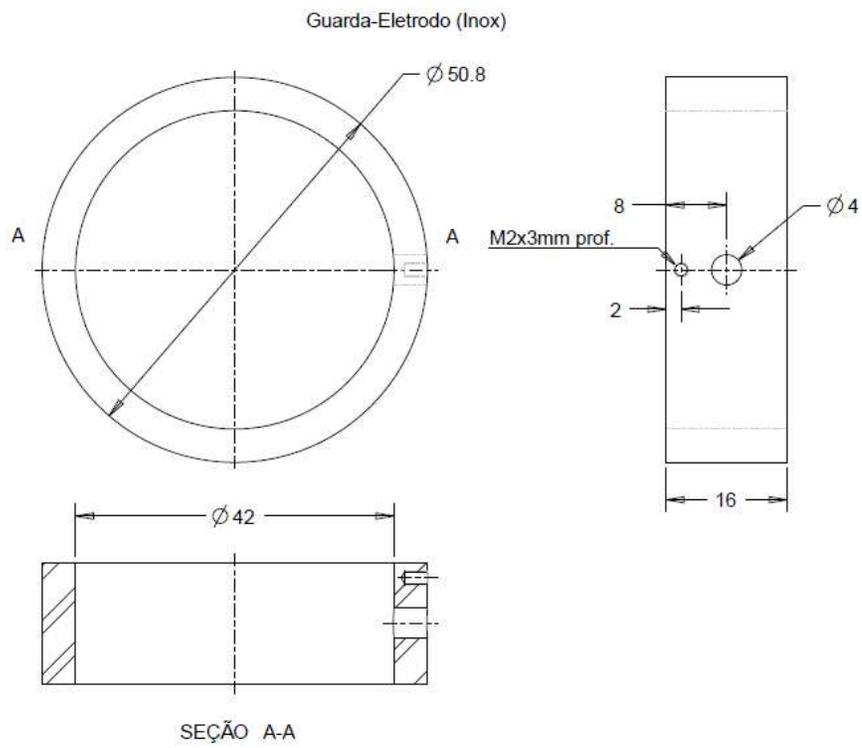


Figura 52 – Eletrodo de anel guarda.

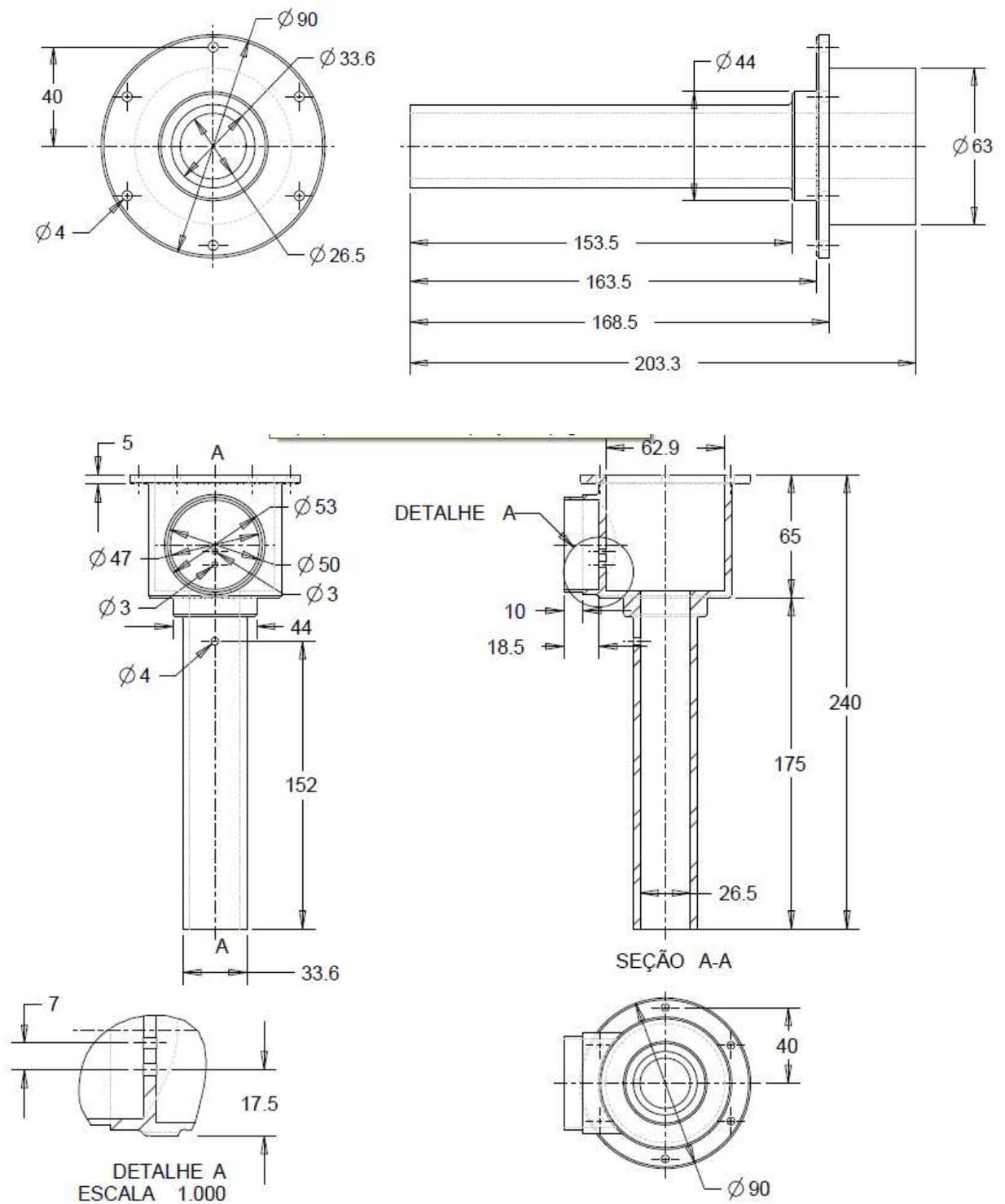


Figura 53 – Carcaça externa que aloja os eletrodos de anéis e de guarda.

**APÊNDICE D – SINAIS TEMPORAIS DE VOLTAGEM, PDF DO
SINAL DE VOLTAGEM, SINAL TEMPORAL DE FRAÇÃO DE VAZIO
 α e PDF DO SINAL DE FRAÇÃO DE VAZIO α**

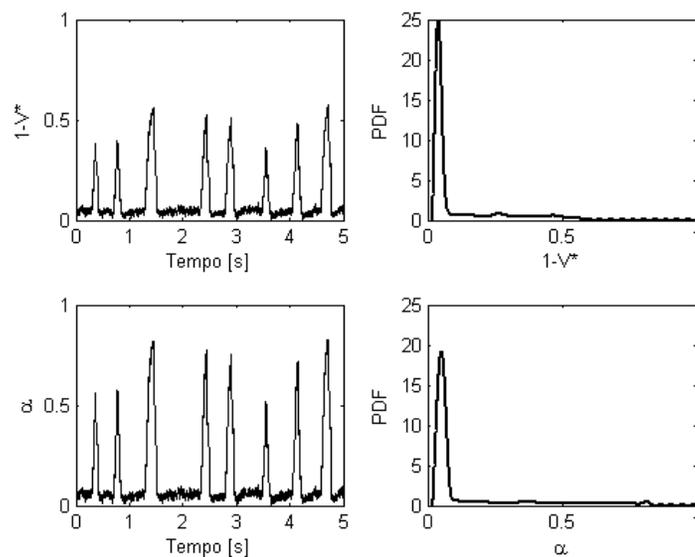


Figura 54 – JL = 0,3 m/s JG = 0,1 m/s; teste n^o37, padrão SC.

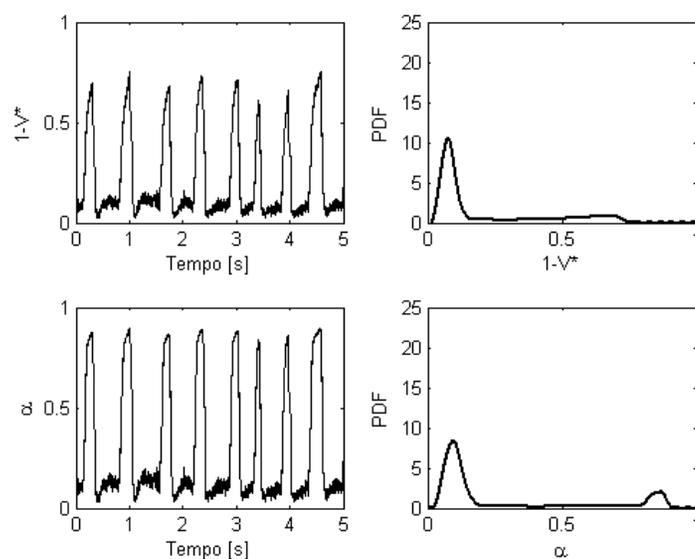


Figura 55 – JL = 0,3 m/s JG = 0,2 m/s; teste n^o32, padrão S.

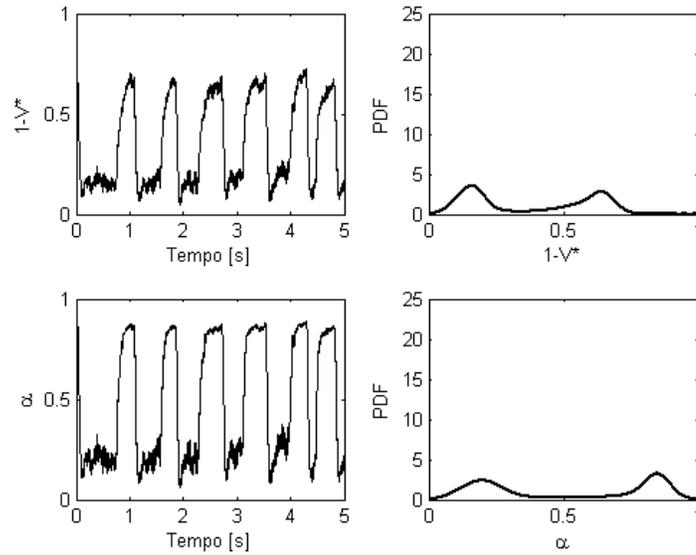


Figura 56 – JL = 0,3 m/s JG = 0,6 m/s; teste n^o20, padrão S.

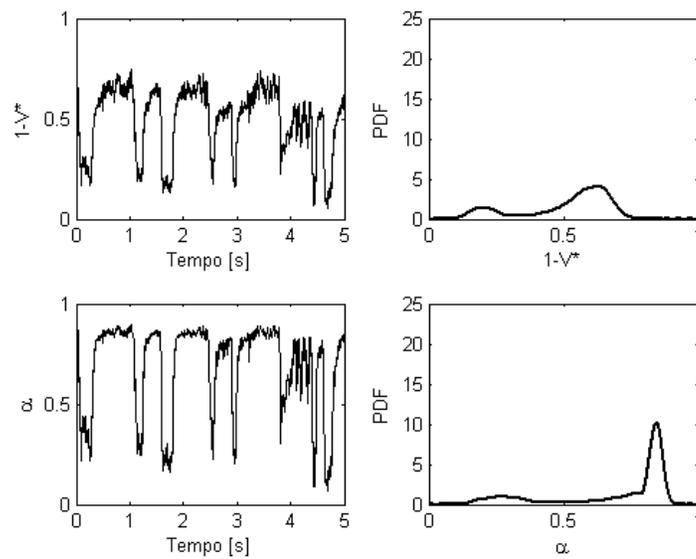


Figura 57 – JL = 0,3 m/s JG = 2,6 m/s; teste n^o8, padrão US.

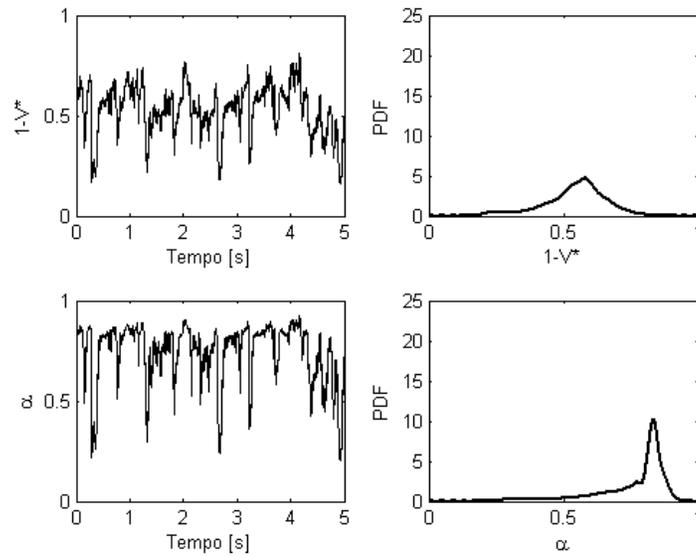


Figura 58 – JL = 0,3 m/s JG = 6,7 m/s; teste n°14, padrão SA.

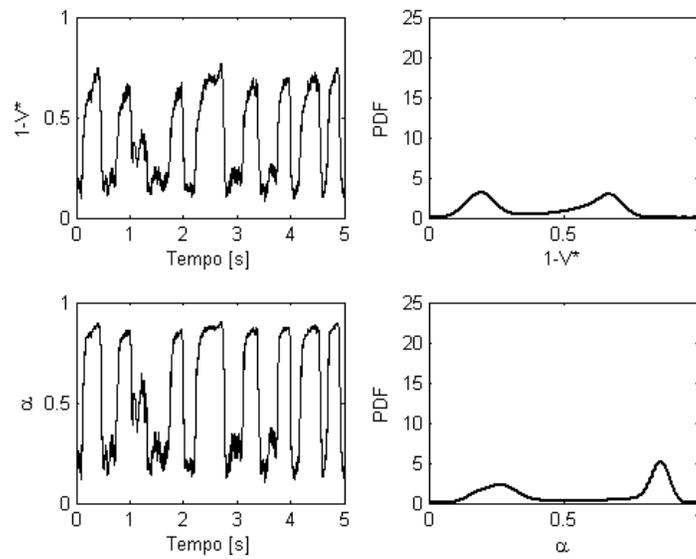


Figura 59 – JL = 0,4 m/s JG = 1,0 m/s; teste n°2, padrão S.

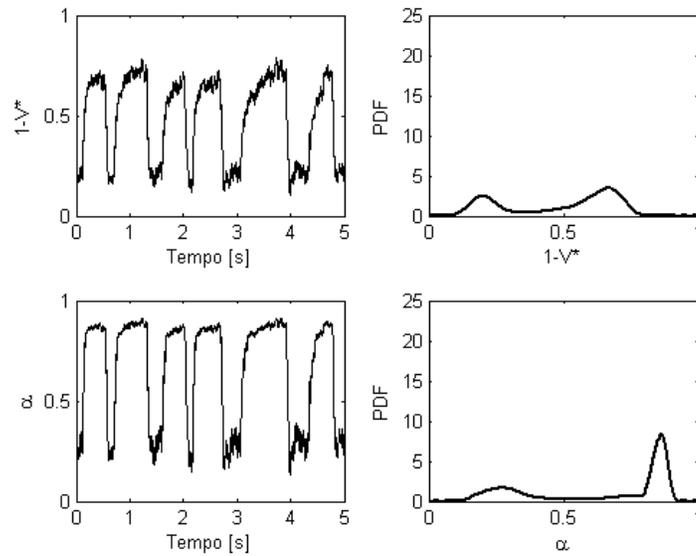


Figura 60 – JL = 0,4 m/s JG = 1,5 m/s; teste n°5, padrão S.

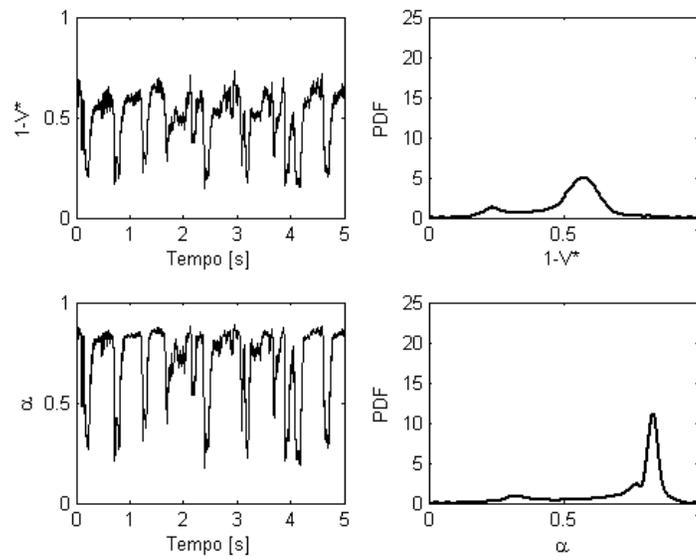


Figura 61 – JL = 0,4 m/s JG = 4,2 m/s; teste n°11, padrão US.

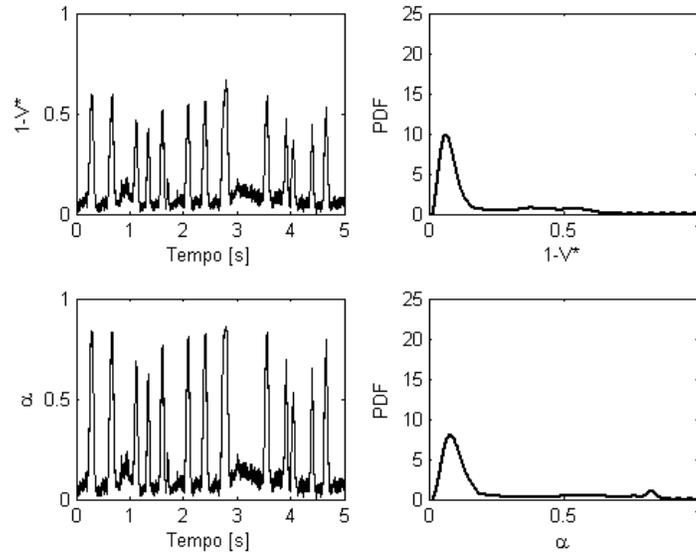


Figura 62 – JL = 0,6 m/s JG = 0,2 m/s; teste n°38, padrão SC.

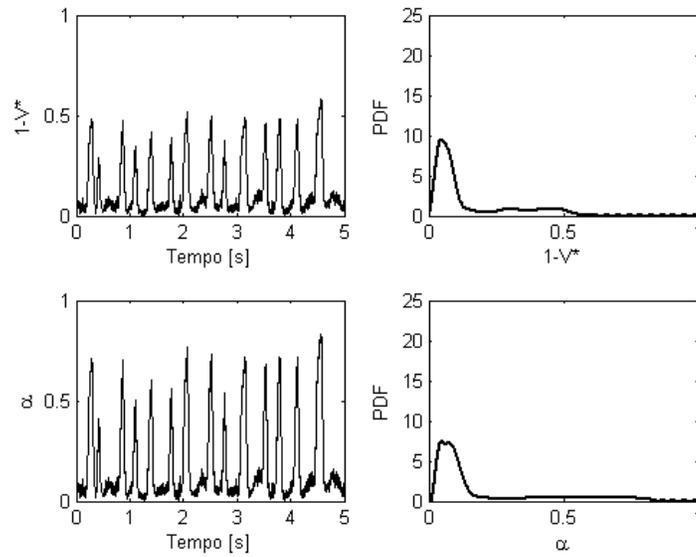


Figura 63 – JL = 0,6 m/s JG = 0,3 m/s; teste n°24, padrão S.

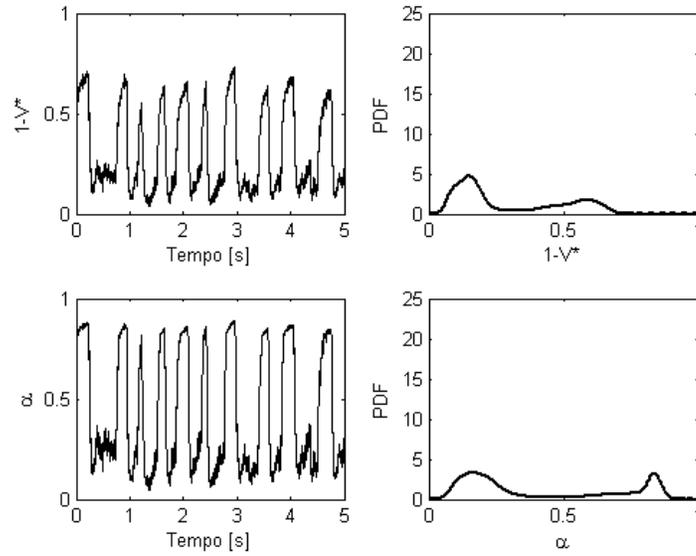


Figura 64 – JL = 0,6 m/s JG = 0,6 m/s; teste n^o25, padrão S.

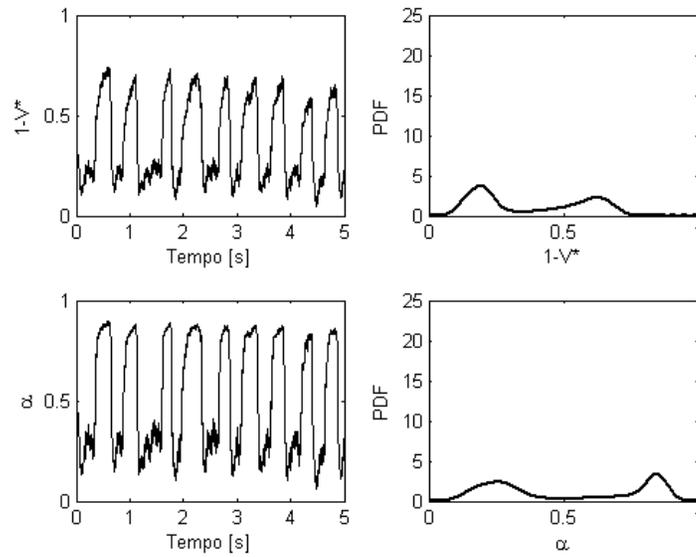


Figura 65 – JL = 0,6 m/s JG = 1,0 m/s; teste n^o3, padrão S.

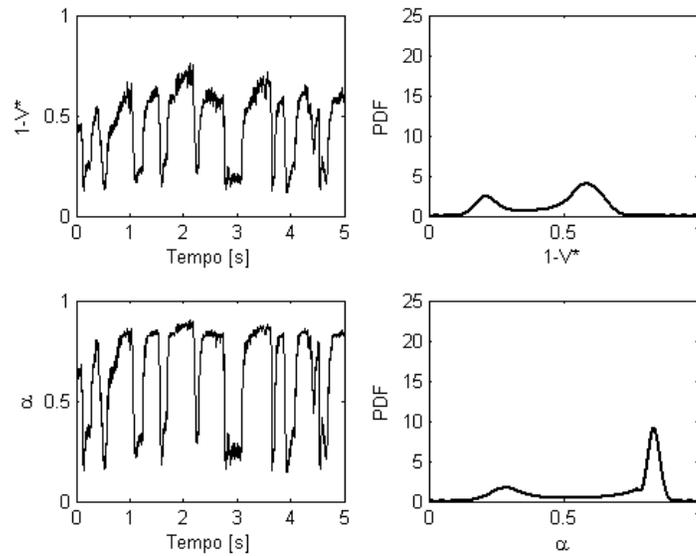


Figura 66 – JL = 0,6 m/s JG = 2,4 m/s; teste n° 9, padrão S.

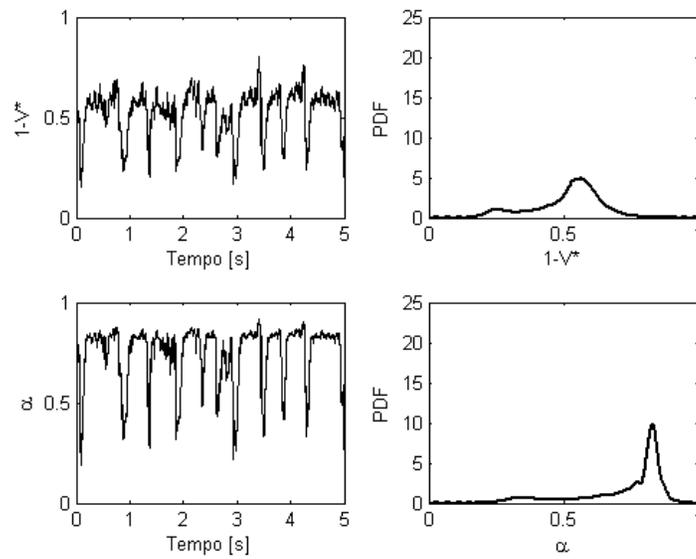


Figura 67 – JL = 0,6 m/s JG = 6,3 m/s; teste n° 15, padrão US.

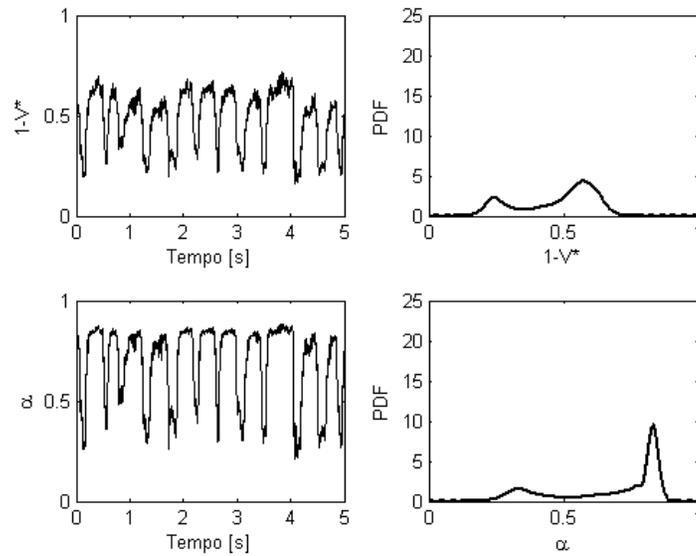


Figura 68 – JL = 0,7 m/s JG = 4,0 m/s; teste n° 12, padrão US.

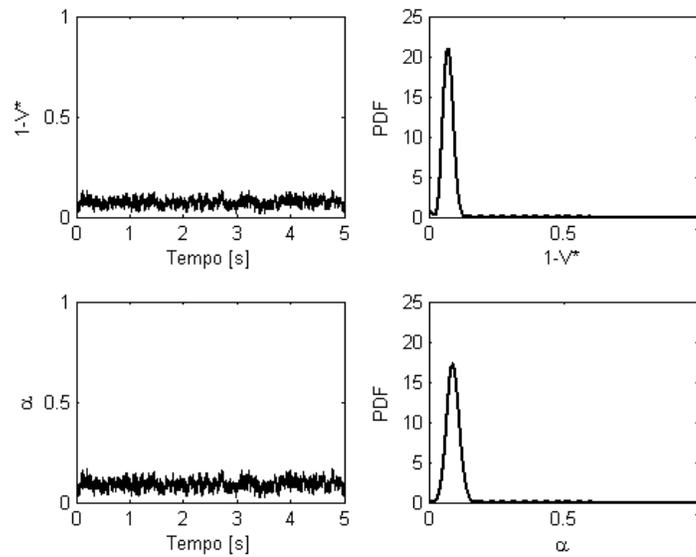


Figura 69 – JL = 1,2 m/s JG = 0,2 m/s; teste n° 43, padrão SC