

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESCOAMENTO BIFÁSICO ADIABÁTICO,
BIDIMENSIONAL, EM REGIME TRANSIENTE, APLICANDO
O MODELO DE DOIS FLUIDOS**

Thadeu das Neves Conti

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
"Mestre na Área de Concentração em
Reatores Nucleares de Potência e
Tecnologia do Combustível Nuclear".**

Orientador: Dr. Artur José Gonçalves Faya

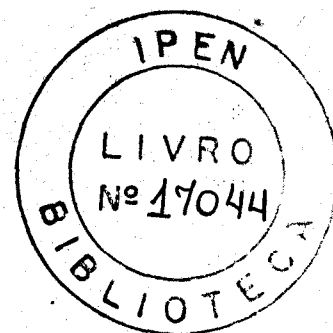
**São Paulo
1983**

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESCOAMENTO BIFÁSICO ADIABÁTICO,
BIDIMENSIONAL, EM REGIME TRANSIENTE, APLICANDO
O MODELO DE DOIS FLUIDOS

Thadeu das Neves Conti

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de "Mestre na Área de Concentração em Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear".

Orientador: Dr. Artur José Gonçalves Faya



SÃO PAULO
1983

539.5
C7511

Aos meus pais e
a minha esposa.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Artur José Gonçalves Faya pela honesta e segura orientação demonstrada durante a realização deste trabalho;

A minha esposa Eliana Maceira Pires Conti pela compreensão durante todo o curso de Pós-Graduação e pelo sincero encorajamento para a realização deste trabalho;

A meus pais Carlos Mario Conti e Guiomar das Neves Conti pelo carinho que sempre me dedicaram;

A minha irmã Marcia Conti Guglielmino pelo auxílio econômico durante o curso de graduação;

A minha cunhada, Prof^a Alzira Pires, pela revisão do texto desta dissertação;

À Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) pelo fornecimento da bolsa de estudos através do PRONUCLEAR;

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) pela utilização de suas instalações;

Aos colegas do Centro de Processamento de Dados pelo apoio à solução dos problemas computacionais;

Aos colegas do Departamento de Tecnologia de Reatores que direta ou indiretamente ajudaram na elaboração desta dissertação.

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESCOAMENTO BIFÁSICO ADIABÁTICO, BIDIMENSIONAL, EM REGIME TRANSIENTE, APLICANDO O MODELO DE DOIS FLUIDOS.

THADEU DAS NEVES CONTI

RESUMO

Este trabalho trata ^{Apresenta-se o} do desenvolvimento de um programa de computador para analisar o transiente do escoamento de um fluido bifásico adiabático. As equações de conservação de massa e quantidade de movimento em geometria cilíndrica são obtidas aplicando-se o modelo de dois fluidos. Para resolvê-las, emprega-se um método iterativo que utiliza um algoritmo que marcha no tempo. Para obter-se a equação da pressão, utiliza-se uma técnica semelhante à usada no procedimento corretivo para solução numérica de problemas de valor inicial. Esta equação é resolvida através de uma técnica de inversão de matriz. Devido à falta de resultados experimentais, fizeram-se vários testes com o programa de modo a verificar a precisão, convergência e estabilidade do método numérico empregado. Também foram realizados testes para verificar-se o comportamento da pressão, fração de vazio e das velocidades radial e axial do vapor e do líquido para diversos conjuntos de dados de entrada.

NUMERICAL SIMULATION OF TRANSIENT, ADIABATIC, BIDIMENSIONAL TWO-
PHASE FLOW USING THE TWO-FLUID MODEL.

THADEU DAS NEVES CONTI

ABSTRACT

A numerical method is developed to simulate adiabatic, tran-
sient, two-dimensional two-phase flow. The two-fluid model is
used to obtain the mass and momentum conservation equations.
These are solved by an iterative algorithm employing a time-
marching scheme. Based on the corrective procedure of Hirt and
Harlow a poisson equation is derived for the pressure field. This
equation is finite-differenced and solved by a suitable matrix
inversion technique. In the absence of experimental results
several numerical tests were made in order to check accuracy,
convergence and stability of the proposed method. Several tests
were also performed to check whether the behavior of void frac-
tion and phasic velocities conforms with previous^{ok} observations.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Relevância do problema	1
1.2 Escoamento bifásico	1
1.2.1 Definições básicas	1
1.2.2 Aplicações mais importantes	2
1.2.3 Tipos de escoamento	3
1.2.4 Modelos para escoamento bifásico	5
1.2.5 Métodos de solução	6
1.3 Objetivos	8
2. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA	10
3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	16
3.1 Modelo matemático	16
3.1.1 Descrição das equações de conservação	16
3.1.2 Hipóteses do modelo matemático	17
3.1.3 Elaboração do sistema de equações diferen	
ciais	19
3.1.3.1 Equações de campo	19
3.1.3.2 Equação da pressão	22
3.1.3.3 Equações constitutivas	25
3.1.3.4 Fechamento do sistema de equações	
de campo	26
3.2 Procedimento numérico	26
3.2.1 Descrição do método numérico	26
3.2.2 Obtenção do sistema de equações algébricas	
3.2.3 Condições de contorno	40
3.3 Programa de computador	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 Caso referência	45
4.2 Variações no método numérico	54
4.2.1 Método explícito	54
4.2.2 Relaxação	56
4.3 Verificação da precisão	57
4.3.1 Passo de tempo	57
4.3.2 Incremento espacial	60
4.4 Verificação da convergência	73
4.5 Estabilidade do método numérico	74

	Pág.
4.6 Variação nas condições de entrada	75
4.7 Variação do coeficiente de arrasto de interface ...	83
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
APÊNDICE A - Descrição dos dados de entrada	103
APÊNDICE B - Dados de saída	107
APÊNDICE C - Listagem do programa fonte	119

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 2.1	Esquema simplificado do circuito primário de um BWR 11
Fig. 2.2	Esquema simplificado do circuito primário e secundário de um PWR 11
Fig. 2.3	Esquema da formação de vapor em um BWR 12
Fig. 2.4	Esquema da formação de vapor em um PWR 12
Fig. 3.1	Região de escoamento do fluido a ser analisada. 18
Fig. 3.2	Localização das grandezas na malha de diferenças finitas 30
Fig. 3.3	Visão geral do reticulado 41
Fig. 3.4	Diagrama de blocos do programa 44
Fig. 4.1	Gráfico da pressão do fluido x raio (Caso referência) 48
Fig. 4.2	Gráfico da fração de vazio x raio (Caso referência) 49
Fig. 4.3	Gráfico da velocidade radial do vapor x raio .. (Caso referência) 50
Fig. 4.4	Gráfico da velocidade radial do líquido x raio (Caso referência) 51
Fig. 4.5	Gráfico da velocidade axial do vapor x raio (Caso referência) 52
Fig. 4.6	Gráfico da velocidade axial do líquido x raio (Caso referência) 53
Fig. 4.7	Gráfico da pressão do fluido x raio (Caso referência II) 62
Fig. 4.8	Gráfico da fração de vazio x raio (Caso referência II) 63
Fig. 4.9	Gráfico da velocidade radial do vapor x raio (Caso referência II) 64
Fig. 4.10	Gráfico da velocidade radial do líquido x raio (Caso referência II) 65

	Pág.
Fig. 4.11 Gráfico da velocidade axial do vapor x raio (Caso referência II)	66
Fig. 4.12 Gráfico da velocidade axial do líquido x raio (Caso referência II)	67
Fig. 4.13 Comparação da fração de vazio na saída do duto para os reticulados de 5x10, 10x10 e 10x15 malhas	68
Fig. 4.14 Comparação da velocidade radial do vapor na saída do duto para os reticulados de 5x10, 10x10 e 10x15 malhas	69
Fig. 4.15 Comparação da velocidade radial do líquido na saída do duto para os reticulados de 5x10, 10x10 e 10x15 malhas	70
Fig. 4.16 Comparação da velocidade axial do vapor na saída do duto para os reticulados de 5x10, 10x10 e 10x15 malhas	71
Fig. 4.17 Comparação da velocidade axial do líquido na saída do duto para os reticulados de 5x10, 10x10 e 10x15 malhas	72
Fig. 4.18 Gráfico da pressão x raio para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada do duto ...	77
Fig. 4.19 Gráfico da fração de vazio x raio para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada do duto	78
Fig. 4.20 Gráfico da velocidade radial do vapor x raio para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada do duto	79
Fig. 4.21 Gráfico da velocidade radial do líquido x raio para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada do duto	80
Fig. 4.22 Gráfico da velocidade axial do vapor x raio para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada do duto	81
Fig. 4.23 Gráfico da velocidade axial do líquido x raio para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada do duto	82

Fig. 4.24	Comparação da fração de vazio na saída do duto entre dois escoamentos com C_D 10^{-2} e 10^{-3} para um valor da fração de vazio 0.2 na entrada	87
Fig. 4.25	Comparação da velocidade radial do vapor na saída do duto entre dois escoamentos com C_D 10^{-2} e 10^{-3} para um valor da fração de vazio 0.2 na entrada	88
Fig. 4.26	Comparação da velocidade axial do líquido na saída do duto entre dois escoamentos com C_D 10^{-2} e 10^{-3} para um valor da fração de vazio 0.2 na entrada	89
Fig. 4.27	Comparação da fração de vazio na saída do duto entre dois escoamentos com C_D 5.10^{-2} e 10^{-3} para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada.	90
Fig. 4.28	Comparação da velocidade radial do líquido na saída do duto entre dois escoamentos com C_D 5.10^{-2} e 10^{-3} para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada	91
Fig. 4.29	Gráfico da pressão x raio para uma fração de vazio 0.8 na entrada do duto	92
Fig. 4.30	Gráfico da fração de vazio x raio para uma fração de vazio 0.8 na entrada do duto	93
Fig. 4.31	Gráfico da velocidade radial do vapor x raio para uma fração de vazio 0.8 na entrada do duto	94
Fig. 4.32	Gráfico da velocidade radial do líquido x raio para uma fração de vazio 0.8 na entrada do duto	95
Fig. 4.33	Gráfico da velocidade axial do vapor x raio para uma fração de vazio 0.8 na entrada do duto	96
Fig. 4.34	Gráfico da velocidade axial do líquido x raio para uma fração de vazio 0.8 na entrada do duto	97
Fig. A1	Dados de entrada para o caso referênci	106
Fig. B1	Gráfico da pressão x raio gerado pelo programa	113
Fig. B2	Gráfico da fração de vazio x raio gerado pelo programa	114

		Pág.
Fig. B3	Gráfico da velocidade radial do vapor x raio gerado pelo programa	115
Fig. B4	Gráfico da velocidade radial do líquido x raio gerado pelo programa	116
Fig. B5	Gráfico da velocidade axial do vapor x raio gerado pelo programa	117
Fig. B6	Gráfico da velocidade axial do líquido x raio gerado pelo programa	118

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1.1 Classificação do escoamento bifásico	4
Tabela 4.1 Conjunto dos dados de entrada do caso referência	46
Tabela 4.2 Distribuição axial da fração de vazio na coluna mais central do duto (Caso referência)	55
Tabela 4.3 Distribuição axial da fração de vazio na coluna mais central do duto (método explícito)	55
Tabela 4.4 Distribuição axial das velocidades axiais do vapor e do líquido na coluna mais central do duto (caso referência)	56
Tabela 4.5 Distribuição axial das velocidades axiais do vapor e do líquido na coluna mais central do duto (sub-relaxação)	57
Tabela 4.6 Distribuição radial das velocidades radiais do vapor e do líquido à meia altura (caso referência)	59
Tabela 4.7 Distribuição radial das velocidades radiais do vapor e do líquido à meia altura (passo de tempo)	59
Tabela B1 Distribuição da pressão gerada pelo programa ...	108
Tabela B2 Dados de entrada e impressão dos raios gerados pelo programa	109
Tabela B3 Variáveis de conservação geradas pelo programa .	110
Tabela B4 Variáveis de conservação (continuação I) geradas pelo programa	111
Tabela B5 Variáveis de conservação (continuação II) geradas pelo programa	112

NOMENCLATURA

C_D	- Coeficiente de arrasto de interface	-
E_1	- Erro relativo no ciclo de tempo	-
E_2	- Erro relativo entre ciclos de tempo	-
F	- Termo de força de fricção	$\text{Kg/m}^2\text{-s}^2$
F_I	- Força de fricção entre as fases	$\text{Kg/m}^2\text{-s}^2$
\vec{g}	- Vetor aceleração da gravidade	m/s^2
h	- Entalpia	J/Kg
N	- Número de ciclos de tempo	-
NN	- Número máximo de ciclos de tempo	-
P	- Pressão	N/m^2
Q	- Variável dependente genérica	-
r	- Coordenada radial	m
R_D	- Raio médio da bolha	m
t	- Coordenada temporal	s
\vec{u}	- Vetor velocidade	m/s
u	- Velocidade radial	m/s
\vec{v}	- Vetor velocidade	m/s
v_∞	- Velocidade no meio infinito	m/s
v	- Velocidade axial	m/s
z	- Coordenada axial	m
α	- Fração de vazio	-
Γ	- Termo de fonte de massa	$\text{Kg/m}^3\text{-s}$
ϵ_1	- Precisão das grandezas no ciclo de tempo	-
ϵ_2	- Precisão das grandezas entre ciclos de tempo	-
μ	- Viscosidade	Kg/m-s
ρ	- Densidade	Kg/m^3

Subscrito

- g - gás
- l - líquido
- r - componente radial
- w - parede
- z - componente axial

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA DO PROBLEMA

Devido à crescente importância de escoamentos multifásicos em vários sistemas de engenharia, esta dissertação faz uma análise matemática e fenomenológica da aplicação do estudo do escoamento bifásico adiabático para centrais convencionais e nucleares de potência.

Para um bom projeto e uma operação segura de um reator de potência nuclear, é necessário prever as condições termo-hidráulicas em todo seu circuito⁽⁵⁾. Para isto, é preciso desenvolver modelos matemáticos e métodos numéricos capazes de solucionar as equações que caracterizam o complexo fenômeno do escoamento bifásico.

1.2 ESCOAMENTO BIFÁSICO

1.2.1 Definições Básicas

Para compreender corretamente os problemas que envolvem o escoamento bifásico é necessário definir alguns termos:

- A) processo adiabático é um processo em que não há troca de calor ($Q=0$).
- B) Fase é uma quantidade de matéria totalmente homogênea⁽¹⁸⁾. A fase também caracteriza os estados da matéria, que são quatro: sólido, líquido, gasoso e plasmático.
- C) Escoamento multifásico é o escoamento simultâneo de várias fases, conseqüentemente, o escoamento bifásico é um caso particular do escoamento multifásico.
- D) O termo escoamento de dois componentes, em geral, é

usado para designar escoamento de duas substâncias diferentes, apesar de que na literatura é muito comum encontrar escoamentos do tipo ar-líquido ou líquido-líquido referidos por escoamentos bifásicos.

1.2.2 Aplicações mais Importantes

A aplicação do estudo do escoamento bifásico em sistemas de engenharia, fenômenos naturais e sistemas biológicos tem-se tornado cada vez mais importante. Todos esses sistemas são governados essencialmente pelas mesmas leis físicas de transporte de massa, quantidade de movimento e energia.

Algumas das mais importantes aplicações são mencionadas abaixo⁽⁹⁾ ;

A) **Sistemas de Potência:**

Reatores nucleares de água fervente e água pressurizada, reatores nucleares rápidos refrigerados a metal líquido, centrais de potência convencionais, etc.

B) **Sistemas de Transferência de Calor:**

Trocadores de calor, evaporadores, condensadores, secadores, refrigeradores, etc.

C) **Sistemas de Processamento:**

Unidades de destilação e extração, reatores químicos, sistemas de dessalinização, separadores de fase, etc.

D) **Controle Ambiental:**

Condicionadores de ar, coletores de poeira, centrais de tratamento de detritos, etc.

E) **Fenômenos Geo-Meteorológicos:**

Sedimentação, erosão dos solos e transporte pelo vento, ondas oceânicas, formação e movimento das

gotas da chuva, formação de gelo, etc.

F) Sistemas Biológicos:

escoamento sanguíneo, controle de temperatura do corpo através do suor.

1.2.3 Tipos de Escoamento

O escoamento bifásico pode ser classificado considerando as combinações de suas fases ou, também, pela estrutura de seu escoamento.

A classificação do escoamento bifásico⁽⁹⁾, segundo a combinação de suas fases, considerando apenas três estados da matéria — sólido, líquido e gasoso —, resulta nas seguintes combinações:

- A) Escoamento de gás-líquido;
- B) Escoamento de gás-sólido;
- C) Escoamento de líquido-sólido.

A segunda classificação é realizada levando-se em consideração a geometria das interfaces nas três classes de escoamento — escoamento separado, misturado ou de transição e disperso —, pois uma das características do escoamento bifásico é a presença de uma ou mais interfaces.

A tabela 1.1 mostra a classificação do escoamento bifásico, segundo a sua classe e regime de escoamento.


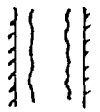







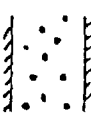
Classe	Regimes típicos	Geometria	Configuração
Escoamento separado	Escoamento ondulado		- filme líquido em gás - filme gasoso em líquido
	Escoamento anular		filme líquido e núcleo gasoso
	Escoamento a jato		- jato líquido em gás - jato gasoso em líquido
Escoamento misturado ou de transição	Escoamento "slug"		Pacote de gás em líquido
	Escoamento anular com bolhas		bolhas de gás em filme líquido com núcleo gasoso
	Escoamento anular com gotas		núcleo gasoso com gotas e filme líquido
	Escoamento anular com gotas e bolhas		núcleo gasoso com gotas e filme líquido com bolhas de gás
Escoamento disperso	Escoamento a bolha		bolhas de gás em líquido
	Escoamento a gota		gotas de líquido em gás
	Escoamento particulado		partículas sólidas em gás ou líquido

Tabela 1.1 - Classificação do escoamento bifásico.

1.2.4 Modelos para o Escoamento Bifásico

O fenômeno do escoamento bifásico é modelado es crevendo-se as equações de conservação de massa, quantidade de mo vimento e energia para cada uma das fases.

A fim de que o sistema de equações de campo te nha solução, há necessidade do número de equações ser igual ao n^u mero de incógnitas. Geralmente para que isto aconteça, completa-se este sistema com equações constitutivas que, além de fecharem o sistema, definem o modelo utilizado.

O número de equações de campo faz com que os mo delos de escoamento bifásico defiram, logo um modelo sofisticado possui um grande número de equações de campo, vários termos de interação interfacial e um número pequeno de restrições.

Em ordem crescente de dificuldade, os princi pais modelos matemáticos para o escoamento bifásico são ⁽⁵⁾ :

A) Modelo homogêneo:

Este modelo possui três equações de campo: equação de conservação de massa, de quantidade de movimento e de energia da mistura. Para este modelo, utilizam-se as hipóteses de que as duas fases do fluido es coem com a mesma velocidade e ambas estejam satura das.

B) Modelo "drift-flux":

Este modelo possui quatro equações de campo: equação da continuidade para o vapor, equação da continuida de para o líquido (ou mistura), equação da conserva ção de quantidade de movimento e de energia para a mistura. Neste modelo, utilizam-se um termo para a diferença de velocidade entre as fases, a suposição de uma das fases saturadas e um termo interfacial de massa.

C) Modelo de dois fluidos:

Este modelo utiliza todas as equações de campo, is

to é, equação da continuidade, equações da conservação de quantidade de movimento e equação da conservação de energia para o vapor e para o líquido. As hipóteses deste modelo devem considerar termos de interação interfacial de massa, de quantidade de movimento e de energia.

1.2.5 Métodos de Solução

Esta seção faz uma compilação das técnicas numéricas mais usadas em dinâmica dos fluidos ⁽⁶⁾ para resolução de problemas em regime transiente.

A) Escoamento de alta velocidade

A-1 Aproximação lagrangiana

Os cálculos lagrangianos de diferenças finitas são caracterizados por um sistema de coordenadas que se move com o fluido, conseqüentemente, cada célula computacional contém o mesmo elemento de fluido. As velocidades são geralmente localizadas nos vértices, enquanto que a energia, a densidade e a pressão são localizadas no meio da célula.

- Vantagens do método lagrangiano:

condições de contorno de superfície livre são facilmente aplicadas;

podem ser apresentados contornos rígidos e curvos de formatos arbitrários,

- Desvantagem do método lagrangiano:

quando as células se tornam muito distorcidas, os cálculos são menos precisos.

A-2 Aproximação euleriana

Os cálculos eulerianos de diferenças finitas são caracterizados por um sistema de coordenadas que é estacionário no sistema de referência do laboratório, portanto o fluido move-se de célula para célula. As velocidades podem ser localiza

das no centro ou nas bordas da célula, enquanto a energia, a densidade e a pressão estão localizadas no meio da célula.

- Vantagens do método euleriano:

o fluido pode suportar arbitrariamente grandes distorções sem perda de precisão;

o fluxo de saída nas paredes é particularmente fácil de modelar.

- Desvantagens do método euleriano:

é difícil obter regiões de resolução fina;

superfícies em contato entre si perdem sua representação precisa, quando o fluido se move através da malha. Desta maneira, cálculos eulerianos são freqüentemente aplicados apenas para a dinâmica de um único material confinado.

A-3 Aproximações eulerianas e lagrangianas combinadas

A-3.1 Método "particle - in - cell" - PIC⁽⁶⁾

O método PIC é constituído de células de malhas eulerianas com partículas lagrangianas para representar as várias espécies de materiais presentes. Somando-se às vantagens já apresentadas do método euleriano, o método PIC também permite a resolução de vários materiais diferentes, conservando suas interfaces precisamente representadas.

A-3.2 Células parcialmente eulerianas, parcialmente lagrangianas

Estas técnicas têm um sistema de coordenadas euleriano em uma direção e lagrangiano em outra. Elas são úteis para a obtenção da definição de interfaces e resolução fina na direção lagrangiana e para diminuir distorções pelo fluxo de massa na direção euleriana. Ainda que altamente útil para certos propósitos especiais, este método é restrito em sua aplicabilidade.

B- Escoamento de baixa velocidade

B-1 Métodos de função de linha e vorticidade (euleriano)

Estes métodos são valiosos para escoamento confinado de um único fluido incompressível, porém são de difícil aplicação a problemas de superfície livre.

B-2 Método das variáveis primárias - pressão e velocidade - (euleriano)

Métodos baseados nas variáveis primárias são úteis para escoamentos confinados mas também têm a grande vantagem de fácil aplicabilidade a problemas multimateriais e de superfícies livres.

B-2.1 Método "marker - and - cell" - MAC⁽⁶⁾

O método MAC utiliza uma malha euleriana para os cálculos de diferenças finitas e um conjunto lagrangiano de partículas traçadoras para mostrar as trocas na configuração do fluido. As velocidades estão localizadas no lado da célula, enquanto que a pressão e a temperatura estão localizadas no centro da mesma, conseqüentemente, uma rigorosa conservação de quantidade de movimento interno é alcançada com o envolvimento mínimo de células vizinhas.

Este método também utiliza um procedimento corretivo para minimizar o número de iterações na equação de Poisson.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação é o desenvolvimento de um método numérico capaz de resolver problemas em dinâmica dos fluidos, para escoamentos bifásicos adiabáticos em regime transiente através de dutos cilíndricos verticais. Isto significa montar um sistema de equações de campo e fornecer o seu fechamento através da elaboração de equações constitutivas.

Para transformar este sistema de equações diferenciais e

em um sistema de equações algébricas, faz-se uma discretização das variáveis do problema através da aplicação de um método de diferenças finitas. A fim de resolvê-lo, aplica-se um procedimento numérico suficientemente estável, convergente e preciso que, juntamente com a elaboração de um conjunto de condições de contorno e de dados de entrada, sirvam para analisar o seu próprio desempenho e o comportamento físico do escoamento.

Fixadas as condições iniciais do escoamento, obtêm-se informações sobre o comportamento da pressão, fração de vazio e das velocidades radial e axial do vapor e do líquido em função do raio e altura do duto. Pode-se aplicar, portanto, este desenvolvimento numérico e computacional a determinadas pesquisas de interesse como, por exemplo, no projeto do separador de vapor, pois, com os resultados fornecidos pelo programa, é possível estimar: a fração de vazio na região central do duto, conseqüentemente, a quantidade de umidade nesta região (carryover)⁽¹³⁾, o líquido separado na periferia, logo, a quantidade de vapor junto ao líquido separado (carryunder)⁽¹³⁾. Além disso, é possível estimar a velocidade e o sentido dos fluxos de vapor e de água na direção radial para os diversos níveis de altura do duto.

Além do separador de vapor, este programa pode ser aplicado a todo escoamento bifásico adiabático que necessite de um detalhamento radial e axial em sua trajetória.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

O estudo do escoamento bifásico é muito importante para a compreensão correta do funcionamento de uma central nuclear de potência, porém é muito difícil de ser efetuado devido aos complexos fenômenos de interação que ocorrem entre as fases do fluido. Em uma usina que emprega energia nuclear para gerar energia elétrica, é necessário conhecer e predizer as condições termo-hidráulicas de seus sistemas, de componentes e circuitos a fim de operar o reator dentro dos limites de segurança exigidos pela legislação nuclear.

Nos reatores nucleares refrigerados por água leve do tipo BWR um dos componentes mais complexos é o vaso de pressão. Nele a água entra para refrigerar os elementos combustíveis e é transformada gradualmente em vapor, pois a pressão local não é suficiente para impedir que a temperatura do refrigerante atinja o ponto de saturação. Nos reatores do tipo PWR, a água, ao passar pelo vaso de pressão, não ferve, porém existe ebulição subresfriada em poucos canais de refrigeração. Nesse tipo de reator, apenas a água do circuito secundário ebule ao passar pelo gerador de vapor.

As figuras 2.1 e 2.2 mostram, respectivamente, os esquemas simplificados dos reatores nucleares refrigerados por água leve do tipo BWR e PWR, indicando os locais de geração de vapor (escoamento bifásico).

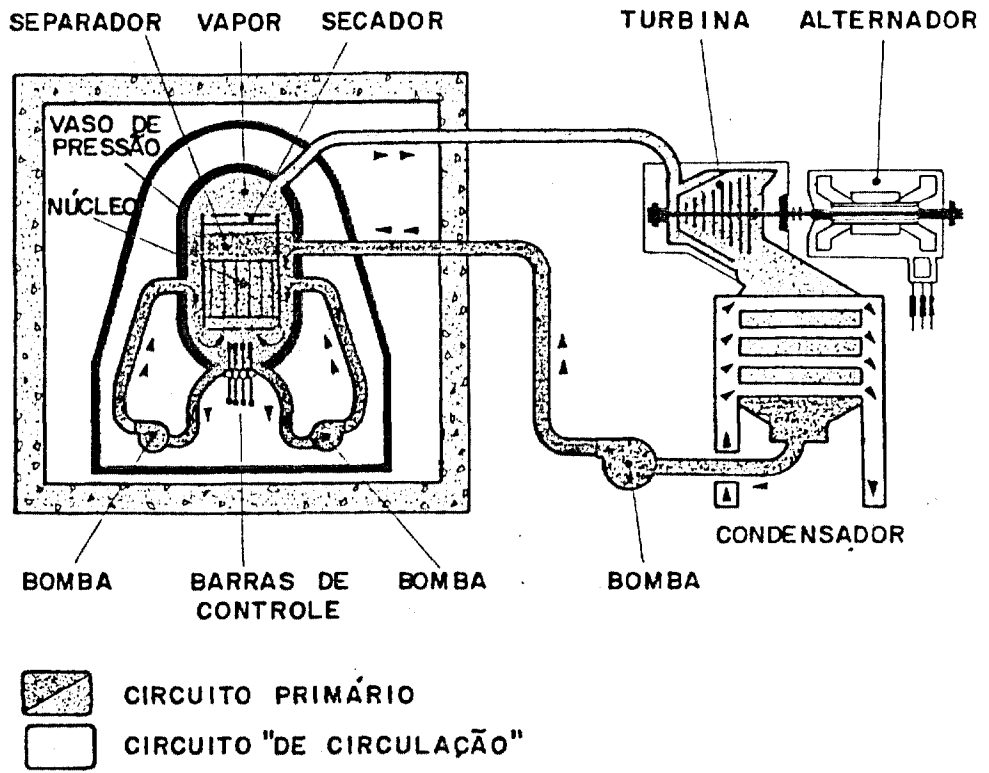


Figura 2.1 - Esquema simplificado do circuito primário de um BWR.

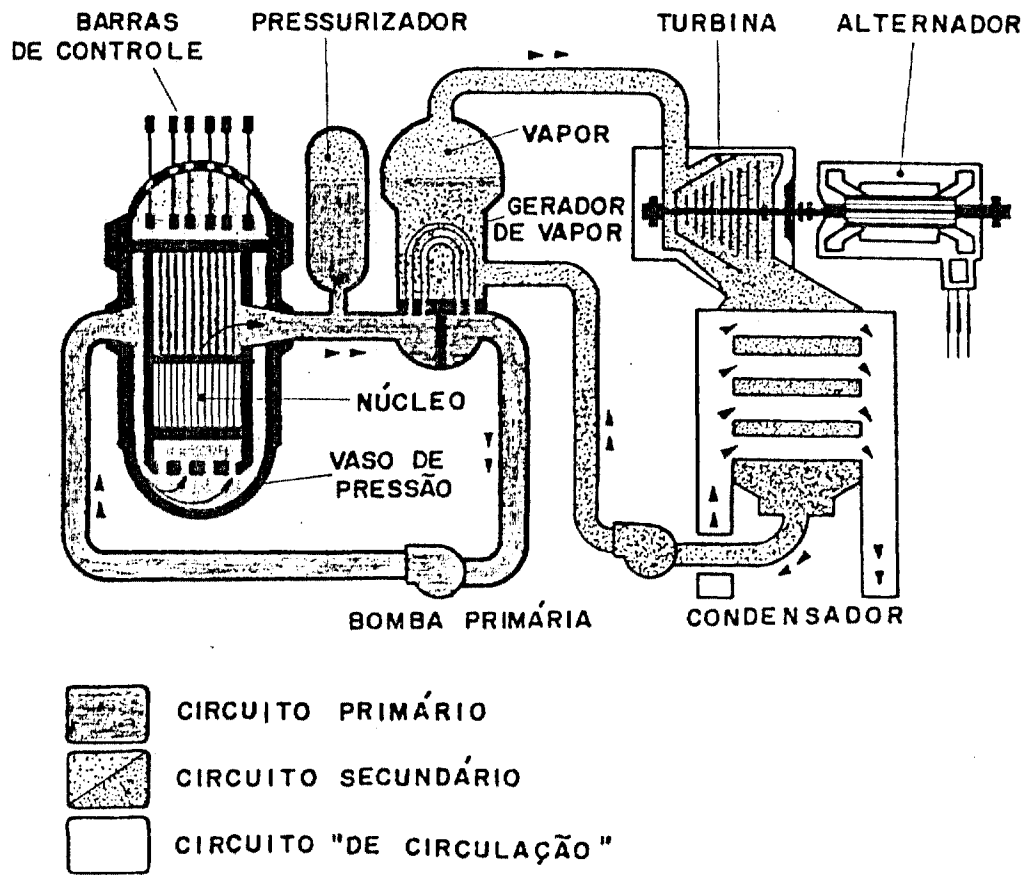


Figura 2.2 - Esquema simplificado do circuito primário e secundário de um PWR.

As figuras 2.3 e 2.4 mostram, respectivamente, a formação de vapor (escoamento bifásico) em um reator do tipo BWR⁽¹⁵⁾ e a ocorrência de ebulição subresfriada em um reator do tipo PWR.

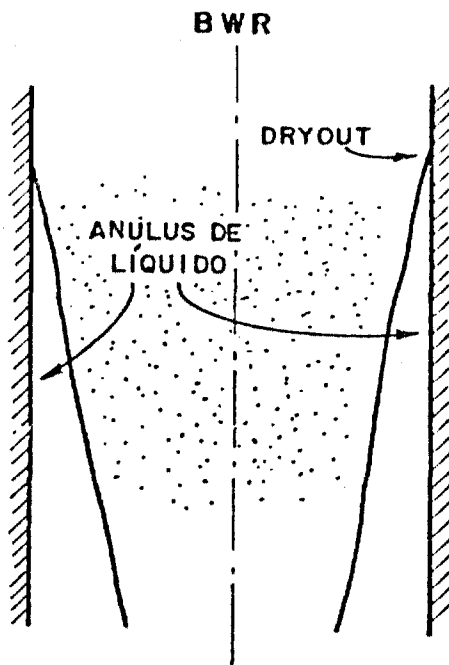


Figura 2.3 - Esquema da formação de vapor em um BWR.

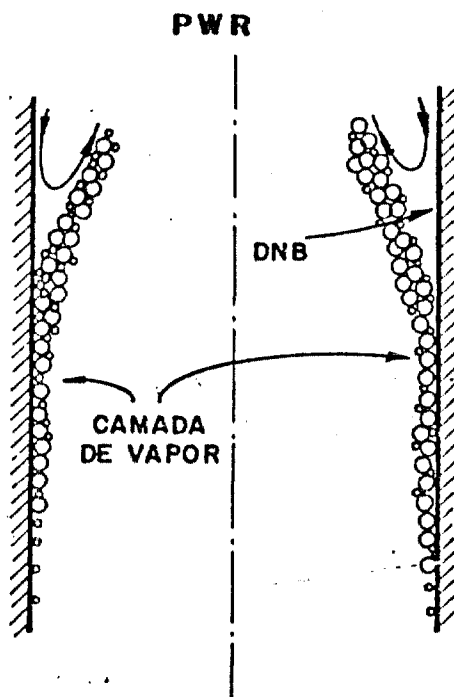


Figura 2.4 - Esquema da formação de vapor em um PWR.

O escoamento bifásico é muito importante não só para compreender o funcionamento de determinados componentes de reatores nucleares que operam segundo esse regime de escoamento mas também para compreender e prevenir acidentes do tipo⁽¹¹⁾:

a) Eventos de frequência moderada:

- perda de uma bomba do primário;
- perda de uma bomba de alimentação.

b) Eventos de baixa probabilidade:

- pequena ruptura na tubulação do circuito primário;
- ruptura na linha de alimentação do separador de vapor ou na linha de vapor.

c) Eventos potencialmente severos com probabilidade extremamente baixa:

- acidente de perda de refrigerante;
- quebra total da tubulação (acidente tipo guilhotina).

Esta necessidade de conhecer e prevenir os diversos fenômenos que envolvem o escoamento bifásico levou inúmeros pesquisadores, na área da engenharia nuclear, a desenvolver modelos matemáticos e métodos numéricos capazes de simular escoamentos bifásicos nas mais diversas situações. O restante deste capítulo faz uma compilação dos programas mais utilizados para simular transientes de escoamentos bifásicos nos diversos componentes de centrais nucleares de potência.

K-FIX (12)

O objetivo deste programa é simular o escoamento bifásico bidimensional em regime transiente, aplicando o modelo de dois fluidos. Ele utiliza uma técnica Euleriana de diferenças finitas para resolver as suas equações. Utiliza também uma técnica implícita de multicampo, desenvolvida para o programa KACHINA, que permite todos os graus de acoplamento entre os campos, desde acoplamentos muito fracos - que ocorrem em escoamentos separados - até acoplamentos muito fortes - que ocorrem em escoamentos dispersos.

KACHINA (12)

Basicamente, este código difere do K-FIX em dois aspectos: nas transições de fases implicitamente acopladas e na transferência de calor interfacial.

ZUNI (3)

Em virtude do método MAC (já exposto no capítulo I) possuir dois aspectos excessivamente complicados, condições de contorno e solução da equação de Poisson, desenvolveu-se o método MAC simplificado (SMAC). Este código computacional foi originalmente aplicado como um veículo para testar o método SMAC em diversos tipos de escoamento incompressível.

FLASH (10)

Trata-se de um código que calcula escoamento, pressão e temperatura no sistema primário de um reator durante um acidente com perda de refrigerante. O modelo utilizado por este código é bastante simples em relação à geometria real do sistema. Basicamente, o código FLASH utiliza três volumes de controle para simular o circuito primário. Este código deu origem aos códigos da série RELAP.

RELAP4 (2)

Trata-se de um código computacional baseado no modelo termo-hidráulico do equilíbrio homogêneo em uma direção. Ele é escrito em linguagem FORTRAN IV para computadores do tipo CDC-7600 e IBM-360 e 370. Possui cento e noventa e sete subrotinas totalizando 45.000 cartões. Seu objetivo é descrever o comportamento termo-hidráulico de reatores nucleares refrigerados por água sujeito a acidentes. O programa, calcula escoamento, pressão, temperatura, título, fluxo de calor, etc. O código RELAP4 é apresentado em três versões: RELAP4 MOD3, MOD5 e MOD6. O RELAP4 MOD5 representa a primeira geração de códigos realistas desenvolvidos até 1975.

RELAP5 (16)

Este código é uma versão mais avançada da série RELAP4. Ele

possui uma série de modificações, porém a modificação fundamental é o novo modelo hidrodinâmico que utiliza cinco equações de conservação: duas equações de conservação de massa; duas equações de conservação de quantidade de movimento e uma equação de conservação de energia.

RETRAN-01 (1)

Trata-se de um código da mesma linha que os códigos da série RELAP, porém exige menos dados de entrada para simular um mesmo problema. Ele é baseado no modelo termo-hidráulico do equilíbrio homogêneo em uma direção. Seu objetivo é analisar o comportamento termo-hidráulico de centrais nucleares de potência.

RETRAN-02 (1)

Este código é uma versão melhorada em relação a série RETRAN-01. Os principais melhoramentos são:

- o modelo hidráulico permite alguns efeitos bidimensionais;
- incorporação de um modelo de "slip";
- representação da neutrônica do "core" em uma dimensão.

SWIRL (19)

O código SWIRL desenvolvido pelo Electric Power Research Institute utiliza o modelo de dois fluidos para simular o escoamento de uma mistura bifásica (água e vapor) em um separador centrífugo de vapor. Alguns aspectos do método numérico utilizado para resolução do sistema de equações, desenvolvido nesta dissertação, foram baseados no método empregado neste código. Este código calcula as três componentes da velocidade do vapor e do líquido, a fração de vazio e a pressão dentro e fora do separador.

Além dos códigos computacionais definidos nesta dissertação, há muitos outros, na área de termo-hidráulica, não mencionados porque fogem ao objetivo deste trabalho.

CAPÍTULO III

3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 MODELO MATEMÁTICO

As equações básicas que descrevem os fenômenos, considerados nesta dissertação, isto é, o escoamento bifásico de uma mistura, fazem parte do modelo de dois fluidos e podem ser expressas pelas equações de conservação de massa e quantidade de movimento para cada fase da mistura^{(5) (4) (14)}.

3.1.1 Descrição das Equações de Conservação

- Equação de conservação de massa do gás

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_g \rho_g) + \nabla (\alpha_g \rho_g \vec{v}_g) = \Gamma_g \quad (3.1)$$

- Equação de conservação de massa do líquido

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_l \rho_l) + \nabla (\alpha_l \rho_l \vec{v}_l) = \Gamma_l \quad (3.2)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento do gás

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_g \rho_g \vec{v}_g) + \nabla (\alpha_g \rho_g \vec{v}_g \vec{v}_g) = \\ = - \alpha_g \nabla P - \vec{F}_{wg} - \vec{F}_I - \alpha_g \rho_g \vec{g} \end{aligned} \quad (3.3)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento do líquido

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_l \rho_l \vec{v}_l) + \nabla (\alpha_l \rho_l \vec{v}_l \vec{v}_l) = \\ = - \alpha_l \nabla P - \vec{F}_{wl} + \vec{F}_I - \alpha_l \rho_l \vec{g} \end{aligned} \quad (3.4)$$

O primeiro e segundo termos do lado esquerdo de cada equação representam, respectivamente, a taxa de armazenagem e a convecção de massa e quantidade de movimento.

O primeiro e segundo termos do lado direito das equações de quantidade de movimento representam, respectivamente, as forças de pressão que agem no fluido para acelerá-lo e as trocas de momento entre as fases do fluido e a parede.

Γ_g , \vec{F}_I representam, respectivamente, as taxas de troca de massa e quantidade de movimento na interface entre as duas fases do fluido.

O último termo do lado direito das equações de quantidade de movimento representa a ação da força gravitacional que age sobre o fluido para acelerá-lo.

3.1.2 Hipóteses do Modelo Matemático

Para simular numericamente em um computador o escoamento de um determinado fluido, são necessárias algumas hipóteses para o seu modelo matemático.

As principais hipóteses do modelo matemático, quanto à geometria de escoamento do fluido e comportamento fenomenológico das grandezas envolvidas, são :

a) geometria cilíndrica bidimensional, isto é, o fluido movimenta-se apenas nas direções radial e axial de um cilindro, onde o movimento na direção axial é simétrico em relação ao eixo longitudinal que é paralelo à direção do vetor campo gravitacional. A Figura 3.1 mostra a região de escoamento do fluido em relação aos eixos coordenados.

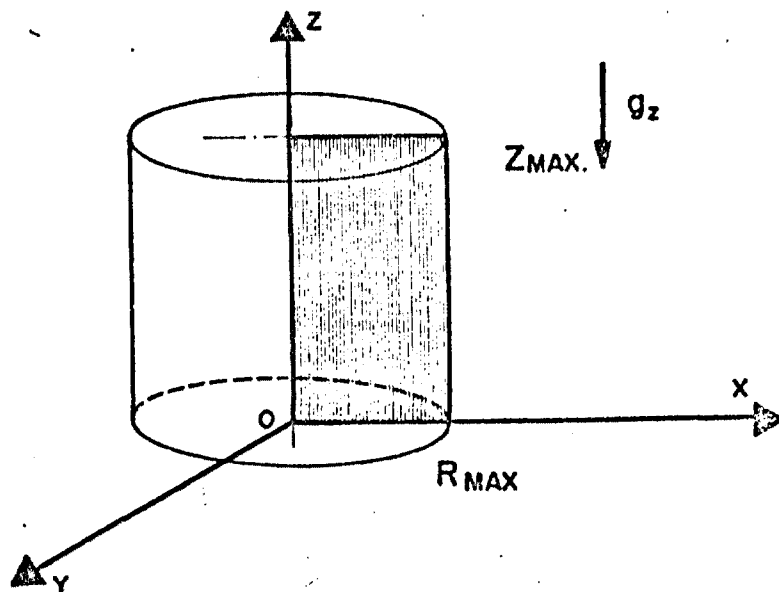


Figura 3.1 - Região de escoamento do fluido a ser analisada.

b) escoamento bifásico adiabático, isto é, a região de escoamento do fluido é isolada termicamente do meio exterior, portanto, não há troca de calor entre o fluido e suas vizinhanças através das paredes do duto. Supõe-se, também, não haver troca de massa na interface entre as duas fases do fluido.

c) fluido incompressível, isto é, não há realização de trabalho sobre o fluido devido às forças de compressão. Com isso, as densidades volumétricas do gás e do líquido mantêm-se constantes através da região de escoamento do fluido.

Também será empregado o axioma da continuidade para a elaboração do sistema de equações de campo

$$\alpha_l = 1 - \alpha \quad (3.5)$$

onde, $\alpha = \alpha_g$

As equações que caracterizam o tipo de fluido usado no escoamento, determinando o modelo matemático empregado,

serão apresentadas na secção 3.1.3.3.

3.1.3 Elaboração do Sistema de Equações Diferenciais

Com a aplicação das hipóteses do modelo matemático, definidas na secção anterior, no conjunto de equações de conservação, descrito na secção 3.1.1, obtêm-se um sistema de equações de campo diferenciais, parciais, não lineares e de segunda ordem que descreve o comportamento físico matemático das grandezas que governam o escoamento do fluido em estudo.

3.1.3.1 Equações de campo

- Equação da continuidade para o gás

$$\frac{\partial}{\partial t} \alpha + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \alpha u_g) + \frac{\partial}{\partial z} (\alpha v_g) = 0 \quad (3.6)$$

- Equação da continuidade para o líquido

$$\frac{\partial}{\partial t} (1 - \alpha) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r(1 - \alpha) u_\ell] + \frac{\partial}{\partial z} [(1 - \alpha) v_\ell] = 0 \quad (3.7)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento radial do gás.

$$\begin{aligned} \alpha \rho_g \left(\frac{\partial}{\partial t} u_g + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial r} u_g^2 + v_g \frac{\partial}{\partial z} u_g \right) = \\ = -\alpha \frac{\partial P}{\partial r} + \alpha \mu_g \nabla^2 u_g - F_{I_r} \end{aligned} \quad (3.8)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento radial do líquido

$$\begin{aligned} (1 - \alpha) \rho_\ell \left(\frac{\partial}{\partial t} u_\ell + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial r} u_\ell^2 + v_\ell \frac{\partial}{\partial z} u_\ell \right) = \\ = - (1 - \alpha) \frac{\partial P}{\partial r} + (1 - \alpha) \mu_\ell \nabla^2 u_\ell + F_{I_r} \end{aligned} \quad (3.9)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento axial do gás

$$\begin{aligned} & \alpha \rho_g \left(\frac{\partial}{\partial t} v_g + u_g \frac{\partial}{\partial r} v_g + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial z} v_g^2 \right) = \\ & = - \alpha \frac{\partial P}{\partial z} + \alpha \rho_g g_z + \alpha \mu_g \nabla^2 v_g - F_{I_z} \end{aligned} \quad (3.10)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento axial do líquido

$$\begin{aligned} & (1 - \alpha) \rho_l \left(\frac{\partial}{\partial t} v_l + u_l \frac{\partial}{\partial r} v_l + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial z} v_l^2 \right) = \\ & = - (1 - \alpha) \frac{\partial P}{\partial z} + (1 - \alpha) \rho_l g_z + (1 - \alpha) \mu_l \nabla^2 v_l + F_{I_z} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Convém isolar os termos de interesse em cada uma das equações, acima obtidas, para tornar mais simples o emprego do método numérico de solução das equações.

- Equação da continuidade para o gás

$$\frac{\partial}{\partial t} \alpha = - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \alpha u_g) - \frac{\partial}{\partial z} (\alpha v_g) \quad (3.12)$$

- Equação da continuidade para o líquido

$$\frac{\partial}{\partial t} (1 - \alpha) = - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r(1 - \alpha) u_l] - \frac{\partial}{\partial z} [(1 - \alpha) v_l] \quad (3.13)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento radial do gás

$$\frac{\partial}{\partial t} u_g = - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial r} u_g^2 - v_g \left(\frac{\partial}{\partial z} u_g \right) - \frac{1}{\rho_g} \left(\frac{\partial P}{\partial r} \right) + \frac{\mu_g}{\rho_g} \nabla^2 u_g - \frac{1}{\alpha \rho_g} F_{I_r} \quad (3.14)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento radial do líquido

$$\frac{\partial}{\partial t} u_l = - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial r} u_l^2 - v_l \frac{\partial}{\partial z} u_l - \frac{1}{\rho_l} \frac{\partial P}{\partial r} + \frac{\mu_l}{\rho_l} \nabla^2 u_l + \frac{1}{(1 - \alpha) \rho_l} F_{I_r} \quad (3.15)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento axial do gás

$$\frac{\partial}{\partial t} v_g = - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial}{\partial z} v_g^2 \right) - u_g \frac{\partial}{\partial r} v_g - \frac{1}{\rho_l} \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right) + g_z + \frac{\mu_g}{\rho_g} \nabla^2 v_g - \frac{1}{\alpha \rho_g} F_{I_z} \quad (3.16)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento axial do líquido

$$\frac{\partial}{\partial t} v_l = - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial z} v_l^2 - u_l \frac{\partial}{\partial r} v_l - \frac{1}{\rho_l} \frac{\partial P}{\partial z} + g_z + \frac{\mu_l}{\rho_l} \nabla^2 v_l + \frac{1}{(1 - \alpha) \rho_l} F_{I_z} \quad (3.17)$$

As equações de campo 3.12, 3.14, 3.15, 3.16 e 3.17 formam um sistema de equações diferenciais parciais,

não lineares e de segunda ordem nas doze variáveis dependentes das conhecidas, a saber, fração de vazio, pressão, velocidade radial do gás e do líquido, velocidade axial do gás e do líquido, densidades do gás e do líquido, viscosidades do gás e do líquido e os termos de troca interfacial de quantidade de movimento radial e axial.

3.1.3.2 Equação da pressão

A fim de calcular a pressão nos diversos pontos da região de escoamento do fluido, deve-se obter uma equação que relacione a variável procurada com as variáveis que caracterizam o fluido e o escoamento do mesmo nessa região.

Para elaborar-se a equação da pressão, utilizar-se-á um método semelhante ao usado no procedimento corretivo para a solução de problemas de valor inicial, de C.W. Hirt e Francis H. Harlow⁽⁷⁾, isto porque uma das hipóteses do modelo matemático para este escoamento é a incompressibilidade do fluido.

Somando as equações 3.12 e 3.13 obtém-se a equação da continuidade da mistura.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r(\alpha u_g + (1 - \alpha) u_\ell)] + \frac{\partial}{\partial z} (\alpha v_g + (1 - \alpha) v_\ell) = 0 \quad (3.18)$$

Esta equação pode ser representada em notação vetorial da seguinte forma:

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (3.19)$$

onde ∇ representa o operador divergente e \vec{u} o vetor velocidade da mistura.

Somando as equações 3.8 e 3.9, obtém-se a equação de conservação de quantidade de movimento da mistura na direção radial.

$$\begin{aligned}
& (\alpha \rho_g \frac{\partial}{\partial t} u_g + (1 - \alpha) \rho_l \frac{\partial}{\partial t} u_l) = \\
& = - \frac{1}{2} (\alpha \rho_g \frac{\partial}{\partial r} u_g^2 + (1 - \alpha) \rho_l \frac{\partial}{\partial r} u_l^2) - \\
& - (\alpha \rho_g v_g \frac{\partial}{\partial z} u_g + (1 - \alpha) \rho_l v_l \frac{\partial}{\partial z} u_l) - \frac{\partial P}{\partial z} + \\
& + \alpha \mu_g \nabla^2 u_g + (1 - \alpha) \mu_l \nabla^2 u_l
\end{aligned} \tag{3.20}$$

Somando as equações 3.10 e 3.11, obtêm-se a equação de conservação de quantidade de movimento da mistura na direção axial.

$$\begin{aligned}
& (\alpha \rho_g \frac{\partial}{\partial t} v_g + (1 - \alpha) \rho_l \frac{\partial}{\partial t} v_l) = \\
& = - \frac{1}{2} (\alpha \rho_g \frac{\partial}{\partial z} v_g^2 + (1 - \alpha) \rho_l \frac{\partial}{\partial z} v_l^2) - \\
& - (\alpha \rho_l u_l \frac{\partial v_l}{\partial r} + (1 - \alpha) \rho_l u_l \frac{\partial v_l}{\partial r}) - \\
& - \frac{\partial P}{\partial z} + g_z (\alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_l) + \alpha \mu_g \nabla^2 v_g + (1 - \alpha) \mu_l \nabla^2 v_l
\end{aligned} \tag{3.21}$$

Agrupando-se as equações 3.20 e 3.21, obtêm-se a equação vetorial da quantidade de movimento total da mistura, podendo ser representada do seguinte modo:

$$\begin{bmatrix} \text{LE1} \\ \text{LE2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{LD1} \\ \text{LD2} \end{bmatrix} \tag{3.22}$$

onde LE1 = lado esquerdo da equação 3.20

LE2 = lado esquerdo da equação 3.21

LD1 = lado direito da equação 3.20
 LD2 = lado direito da equação 3.21.

Aplicando o operador divergente em coordenadas cilíndricas à equação 3.22, obtêm-se a equação da pressão.

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r(\alpha \rho_g u_g + (1 - \alpha) \rho_l u_l) \right] + \right. \\
 & \left. \frac{\partial}{\partial z} (\alpha \rho_g v_g + (1 - \alpha) \rho_l v_l) \right\} = \\
 & = - \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r(\alpha \rho_g \frac{\partial}{\partial r} u_g^2 + (1 - \alpha) \rho_l \frac{\partial}{\partial r} u_l^2) \right] + \right. \\
 & \left. + \frac{\partial}{\partial z} (\alpha \rho_g \frac{\partial}{\partial z} v_g^2 + (1 - \alpha) \rho_l \frac{\partial}{\partial z} v_l^2) \right\} - \\
 & - \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r(\alpha \rho_g v_g \frac{\partial}{\partial z} u_g + (1 - \alpha) \rho_l v_l \frac{\partial}{\partial z} u_l) \right] + \right. \\
 & \left. + \frac{\partial}{\partial z} (\alpha \rho_g u_g \frac{\partial}{\partial r} v_g + (1 - \alpha) \rho_l u_l \frac{\partial}{\partial r} v_l) \right\} - \\
 & - \left\{ \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial P}{\partial r} \right) \right] + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right\} + \\
 & + \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r(\alpha \mu_g \nabla^2 u_g + (1 - \alpha) \mu_l \nabla^2 u_l) \right] + \right. \\
 & \left. + \frac{\partial}{\partial z} (\alpha \mu_g \nabla^2 v_g + (1 - \alpha) \mu_l \nabla^2 v_l) \right\} + \\
 & + g_z \frac{\partial}{\partial z} (\alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_l) \tag{3.23}
 \end{aligned}$$

Nota-se que o lado esquerdo da equação da pressão é a derivada no tempo da equação da continuidade da

mistura.

3.1.3.3 Equações constitutivas

Geralmente o conjunto de equações de campo é insuficiente para dar uma resposta específica do problema, pois o número de equações é menor que o número de incógnitas⁽⁹⁾, conseqüentemente, é necessário suplementá-las com várias equações constitutivas que estabelecem modelos físicos para os fenômenos e fecham o sistema de equações.

- Equações de estado para o gás e o líquido

Supõe-se que as densidades do gás e do líquido sejam funções da pressão e da entalpia.

$$\rho_g = \rho_g (P, h_g) \quad (3.24)$$

$$\rho_l = \rho_l (P, h_l) \quad (3.25)$$

- Termos de troca interfacial de quantidade de movimento

Para estes termos foram escolhidas as seguintes expressões matemáticas:

direção radial

$$F_{I_r} = \rho_l \frac{C_D}{R_D} |u_g - u_l| (u_g - u_l) \quad (3.26)$$

direção axial

$$F_{I_z} = \rho_l \frac{C_D}{R_D} |v_g - v_l - v_\infty| (v_g - v_l + v_\infty) \quad (3.27)$$

Para cada caso estudado, foram atribuídos valores constantes para o coeficiente de arrasto de interfaces.

- Viscosidade do gás e do líquido (para cada caso estudado, foram atribuídos valores constantes para ela)

$$\mu_g = \text{cte} \quad (3.28)$$

$$\mu_l = \text{cte} \quad (3.29)$$

3.1.3.4 Fechamento do sistema de equações de campo

Para tornar o sistema de equações de campo fechado, devem-se incluir neste sistema a equação da pressão e as equações constitutivas desenvolvidas nas secções anteriores.

As doze equações que fecham o sistema são as seguintes:

equações de campo
3.12, 3.14, 3.15, 3.16 e 3.17

equação da pressão
3.23

equações constitutivas
3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28 e 3.29.

3.2 PROCEDIMENTO NUMÉRICO

O sistema de equações de campo, descrito na secção 3.1.3.4, foi elaborado de modo a poder ser numericamente resolvido como um transiente, isto é, um problema de valor de contorno e de valor inicial usando um método de diferenças finitas.

3.2.1 Descrição do Método Numérico

De acordo com a secção 3.1.3.4, transformamos

o sistema de cinco equações a doze incógnitas da secção 3.1.3.1 em um sistema de seis equações diferenciais parciais não lineares, de segunda ordem a seis variáveis dependentes desconhecidas, \underline{P} e $\underline{Q} = [\alpha, u_g, u_l, v_g, v_l]$, onde as variáveis independentes, segundo a geometria escolhida, são o raio (r) e a altura (z).

As equações de conservação deste sistema podem ser escritas usando-se a seguinte notação vetorial:

$$\frac{\partial \underline{Q}}{\partial t} = \overset{K, C}{F(\underline{Q})} + \overset{F_1}{G(\underline{P})} \quad (3.30)$$

onde \underline{F} e \underline{G} não contêm derivadas do tempo. \underline{G} pode ser considerado como um operador gradiente e \underline{F} um operador que contém os termos de advecção, de difusão, de arrasto e de gravitação.

A seguinte notação será usada para as variáveis dependentes do sistema de equações:

$$Q_{i,j}^{n,m}$$

onde Q é a variável dependente;

n é o índice de discretização temporal;

m é o número de iterações realizadas em um ciclo de tempo;

i é o índice de discretização espacial na direção radial;

j é o índice de discretização espacial na direção axial.

Um algoritmo de diferenças finitas que marcha no tempo, baseado no método utilizado por Vander Vorst e Stuhmiller⁽¹⁹⁾, foi escolhido para resolver as equações de conservação do sistema de equações.

Aplicando este algoritmo na equação 3.30, pode-se obter a seguinte equação discretizada no tempo:

$$Q^{n+1} = Q^n + \Delta T \left[F(Q^{n+1/2}) + G(P^n) \right] \quad (3.31)$$

onde $t^{n+1} = t^n + \Delta T$

$$\underline{P} = \underline{A}^{-1} \underline{B} \quad (3.34)$$

onde \underline{A}^{-1} é a matriz inversa da equação dos coeficientes da incôgnita pressão.

Para a resolução dessa equação, utilizou-se uma técnica baseada no método de eliminação de Gauss.

Para a discretização espacial das equações que compõem o sistema, as derivadas em \underline{r} e \underline{z} das funções \underline{F} e \underline{G} foram aproximadas pelo operador central de diferenças finitas. Apenas para a função \underline{F} da equação da fração de vazio foi usado o operador "forward".

$$\left(\frac{dy}{dx}\right) \approx \frac{y(x + \Delta x) - y(x - \Delta x)}{2 \Delta x} = \frac{\partial y}{\partial x} \quad (\text{central})$$

$$\left(\frac{dy}{dx}\right) \approx \frac{y(x + \Delta x) - y(x)}{\Delta x} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (\text{forward})$$

onde $y = y(x)$

Quando se faz a discretização das equações que compõem o sistema, cria-se um reticulado na região de estudo de escoamento do fluido, onde o domínio da solução espacial das equações é o interior de uma malha de diferenças finitas.

A figura 3.2 mostra o local onde são definidas as variáveis dependentes dentro da malha de diferenças finitas ⁽²⁰⁾

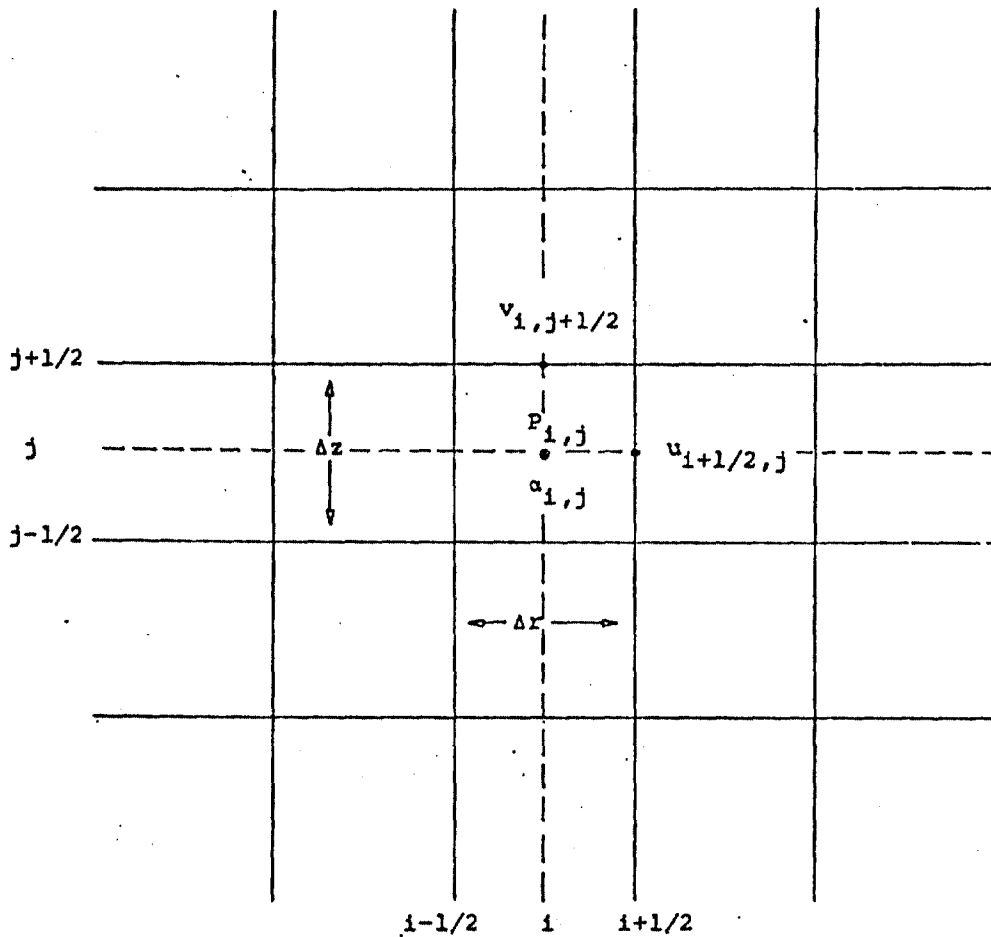


Figura 3.2 - Localização das grandezas na malha de diferenças finitas.

O mecanismo de funcionamento deste método numérico é o seguinte:

Em primeiro lugar, deve-se obter a distribuição de pressões. Para isto, calcula-se a matriz inversa dos coeficientes da pressão. Como esta matriz depende de parâmetros que não variam no decorrer do tempo, será necessário invertê-la apenas uma vez. Depois se calcula o vetor lado direito da equação da pressão como função dos parâmetros de escoamento no tempo N .

Após a obtenção da distribuição de pressões, através de uma técnica de decomposição de matriz, devem-se calcular as grandezas simbolizadas por Q , segundo a equação não linear 3.30, através da aplicação de um método iterativo.

O seguinte método foi escolhido:

$$Q^{n+1,m+1} = Q^n + \Delta T \left[F(Q^{n+1/2,m}) + G(P^n) \right] \quad (3.35)$$

onde $Q^{n+1,0} = Q^n$

$$Q^{n+1/2,m} = \frac{1}{2} (Q^n + Q^{n+1,m})$$

A iteração sô é parada, quando o resíduo $|Q^{n+1,m+1} - Q^{n+1,m}|$ for menor que um valor prefixado. Quando isto ocorrer, pode-se dizer que

$$Q^{n+1} = Q^{n+1,m+1}$$

Quando se atinge esta etapa do método numérico, foi completado um ciclo de tempo. Para começar o ciclo seguinte, agora se deve calcular a pressão como função dos parâmetros de escoamento no tempo $N+1$ e substituir novamente esses valores nas equações de conservação.

3.2.2 Obtenção do Sistema de Equações Algébricas

Aplicando o método numérico já definido, isto é, discretizando as equações do sistema definido em 3.1.3.4, o sistema de equações diferenciais transforma-se em vários sistemas de equações algébricas que são mais fáceis de serem solucionados, porém mais trabalhosos para serem calculados.

As equações algébricas, resultantes da aplicação do método numérico descrito na secção anterior, são as seguintes:

- Equação da continuidade para o gás

$$\alpha_{i,j}^{n+1,m+1} = \alpha_{i,j}^n - \Delta t \left\{ \frac{1}{\Delta r r_i} \left[r_{i+1} (\alpha u_g)_{i+1,j}^{n+1/2,m} - r_i (\alpha u_g)_{i,j}^{n+1/2,m} \right] + \frac{1}{\Delta z} \left[(\alpha v_g)_{i,j+1}^{n+1/2,m} - (\alpha v_g)_{i,j}^{n+1/2,m} \right] \right\} \quad (3.36)$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento radial do gás.

$$\begin{aligned}
 u_{g_{i+1/2,j}}^{n+1,m+1} &= u_{g_{i+1/2,j}}^n - \Delta t \left\{ \frac{1}{2\Delta r} \left[(u_{g_{i+1,j}}^{n+1/2,m})^2 - (u_{g_{i,j}}^{n+1/2,m})^2 \right] + \right. \\
 &+ v_{g_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m} \frac{1}{\Delta z} (u_{g_{i+1/2,j+1/2}}^{n+1/2,m} - u_{g_{i+1/2,j-1/2}}^{n+1/2,m}) + \\
 &+ \frac{C_D}{R_D} \frac{\rho_\ell}{\rho_g} \frac{1}{\alpha_{i+1/2,j}^{n+1/2,m}} |u_{g_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m} - u_{\ell_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m}| (u_{g_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m} - u_{\ell_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m}) - \\
 &- \frac{\mu_g}{\rho_g} \left\{ \frac{1}{\Delta r^2} \left[\frac{1}{r_{i+1}} \left((ru_g)_{i+3/2,j}^{n+1/2,m} - (ru_g)_{i+1/2,j}^{n+1/2,m} \right) - \right. \right. \\
 &- \left. \frac{1}{r_i} \left((ru_g)_{i+1/2,j}^{n+1/2,m} - (ru_g)_{i-1/2,j}^{n+1/2,m} \right) \right] + \\
 &+ \left. \frac{1}{\Delta z^2} \left(u_{g_{i+1/2,j+1}}^{n+1/2,m} - 2u_{g_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m} + u_{g_{i+1/2,j-1}}^{n+1/2,m} \right) \right\} + \\
 &+ \left. \frac{1}{\Delta r \rho_g} (P_{i+1,j}^n - P_{i,j}^n) \right\} \quad (3.37)
 \end{aligned}$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento radial do líquido

$$\begin{aligned}
 u_{\ell_{i+1/2,j}}^{n+1,m+1} &= u_{\ell_{i+1/2,j}}^n - \Delta t \left\{ \frac{1}{2\Delta r} \left[(u_{\ell_{i+1,j}}^{n+1/2,m})^2 - (u_{\ell_{i,j}}^{n+1/2,m})^2 \right] + \right. \\
 &+ \frac{1}{\Delta z} v_{\ell_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m} (u_{\ell_{i+1/2,j+1/2}}^{n+1/2,m} - u_{\ell_{i+1/2,j-1/2}}^{n+1/2,m}) -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{C_D}{R_D} \frac{1}{(1 - \alpha_{i+1/2,j})} \left(u_{g_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m} - u_{\ell_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m} \right) \left(u_{g_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m} - u_{\ell_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m} \right) - \\
 & - \frac{\mu_\ell}{\rho_\ell} \left\{ \frac{1}{\Delta r^2} \left[\frac{1}{r_{i+1}} \left((ru_\ell)_{i+3/2,j}^{n+1/2,m} - (ru_\ell)_{i+1/2,j}^{n+1/2,m} \right) - \right. \right. \\
 & - \left. \frac{1}{r_i} \left((ru_\ell)_{i+1/2,j}^{n+1/2,m} - (ru_\ell)_{i-1/2,j}^{n+1/2,m} \right) \right] + \\
 & + \left. \frac{1}{\Delta z^2} \left(u_{\ell_{i+1/2,j+1}}^{n+1/2,m} - 2 u_{\ell_{i+1/2,j}}^{n+1/2,m} + u_{\ell_{i+1/2,j-1}}^{n+1/2,m} \right) \right\} + \\
 & + \left. \frac{1}{\Delta r \rho_\ell} \left(P_{i+1,j}^n - P_{i,j}^n \right) \right\} \tag{3.38}
 \end{aligned}$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento axial do gás

$$\begin{aligned}
 & v_{g_{i,j+1/2}}^{n+1,m+1} = v_{g_{i,j+1/2}}^n - \Delta t \left\{ \frac{1}{2\Delta z} \left[(v_{g_{i,j+1}}^{n+1/2,m})^2 - (v_{g_{i,j}}^{n+1/2,m})^2 \right] + \right. \\
 & + \frac{1}{\Delta r} u_{g_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} \left(v_{g_{i+1/2,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{g_{i-1/2,j+1/2}}^{n+1/2,m} \right) + \\
 & + \left. \frac{C_D}{R_D} \frac{\rho_\ell}{\rho_g} \frac{1}{\alpha_{i,j+1/2}} \left(v_{g_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{\ell_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_\infty \right) \left(v_{g_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{\ell_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} + v_\infty \right) \right\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{\mu_g}{\rho_g} \left\{ \frac{1}{\Delta r^2 r_i} \left[r_{i+1/2} \left(v_{g_{i+1,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{g_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} \right) - \right. \right. \\
 & \left. \left. - r_{i-1/2} \left(v_{g_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{g_{i-1,j+1/2}}^{n+1/2,m} \right) \right] + \right. \\
 & \left. + \frac{1}{\Delta z^2} \left(v_{g_{i,j+3/2}}^{n+1/2,m} - 2 v_{g_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} + v_{g_{i,j-1/2}}^{n+1/2,m} \right) \right\} - g_z + \\
 & \left. + \frac{1}{\Delta z \rho_g} \left(p_{i,j+1}^n - p_{i,j}^n \right) \right\} \tag{3.39}
 \end{aligned}$$

- Equação de conservação de quantidade de movimento axial do líquido

$$\begin{aligned}
 v_{l_{i,j+1/2}}^{n+1,m+1} &= v_{l_{i,j+1/2}}^n - \Delta t \left\{ \frac{1}{2\Delta z} \left[\left(v_{l_{i,j+1}}^{n+1/2,m} \right)^2 - \left(v_{l_{i,j}}^{n+1/2,m} \right)^2 \right] + \right. \\
 & + \frac{1}{\Delta r} u_{l_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} \left(v_{l_{i+1/2,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{l_{i-1/2,j+1/2}}^{n+1/2,m} \right) - \\
 & - \frac{C_D}{R_D} \frac{1}{(1 - \alpha_{i,j+1/2}^{n+1/2,m})} \left| v_{g_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{l_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_\infty \right| \left(v_{g_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{l_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} + v_\infty \right) \\
 & - \frac{\mu_l}{\rho_l} \left\{ \frac{1}{\Delta r^2 r_i} \left[r_{i+1/2} \left(v_{l_{i+1,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{l_{i,j+1/2}}^{n+1/2,m} \right) - \right. \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - r_{i-1/2} \left(v_{i,j+1/2}^{n+1/2,m} - v_{i-1,j+1/2}^{n+1/2,m} \right) \Bigg] + \\
 & + \frac{1}{\Delta z^2} \left(v_{i,j+3/2}^{n+1/2,m} - 2 v_{i,j+1/2}^{n+1/2,m} + v_{i,j-1/2}^{n+1/2,m} \right) \Bigg\} - g_z + \\
 & + \frac{1}{\Delta z \rho_\ell} \left(P_{i,j+1}^n - P_{i,j}^n \right) \Bigg\} \tag{3.40}
 \end{aligned}$$

- Equação da pressão

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{\Delta r^2} \frac{r_{i+1/2}}{r_i} P_{i+1,j}^n + \frac{1}{\Delta r^2} \frac{r_{i-1/2}}{r_i} P_{i-1,j}^n - \\
 & - \left(\frac{2}{\Delta z^2} + \frac{1}{\Delta r^2} \frac{r_{i+1/2} + r_{i-1/2}}{r_i} \right) P_{i,j}^n + \frac{1}{\Delta z^2} P_{i,j+1}^n + \frac{1}{\Delta z^2} P_{i,j-1}^n = \\
 & = \left\{ \frac{1}{\Delta t} \left[\frac{1}{\Delta r r_i} \left(r_{i+1/2} (\alpha \rho_g u_g + (1-\alpha) \rho_\ell u_\ell) \right)_{i+1/2,j}^n - \right. \right. \\
 & \left. \left. - r_{i-1/2} (\alpha \rho_g u_g + (1-\alpha) \rho_\ell u_\ell)_{i-1/2,j}^n \right] + \right. \\
 & \left. + \frac{1}{\Delta z} \left[(\alpha \rho_g v_g + (1-\alpha) \rho_\ell v_\ell)_{i,j+1/2}^n - (\alpha \rho_g v_g + (1-\alpha) \rho_\ell v_\ell)_{i,j-1/2}^n \right] \right. \\
 & \left. - \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{\Delta r r_i} \left[r_{i+1/2} \left((\alpha \rho_g)_{i+1/2,j}^n \frac{1}{\Delta r} \left((u_{g,i+1,j}^n)^2 - (u_{g,i,j}^n)^2 \right) + \right. \right. \right. \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + ((1 - \alpha) \rho_\ell)^n_{i+1/2,j} \frac{1}{\Delta r} \left[(u_{\ell,i+1,j}^n)^2 - (u_{\ell,i,j}^n)^2 \right] - \\
 & - r_{i-1/2} \left[(\alpha \rho_g)^n_{i-1/2,j} \frac{1}{\Delta r} \left[(u_{g,i,j}^n)^2 - (u_{g,i-1,j}^n)^2 \right] + \right. \\
 & \left. + ((1 - \alpha) \rho_\ell)^n_{i-1/2,j} \frac{1}{\Delta r} \left[(u_{\ell,i,j}^n)^2 - (u_{\ell,i-1,j}^n)^2 \right] \right] + \\
 & + \frac{1}{\Delta z} \left[(\alpha \rho_g)^n_{i,j+1/2} \frac{1}{\Delta z} \left[(v_{g,i,j+1}^n)^2 - (v_{g,i,j}^n)^2 \right] + \right. \\
 & + ((1 - \alpha) \rho_\ell)^n_{i,j+1/2} \frac{1}{\Delta z} \left[(v_{\ell,i,j+1}^n)^2 - (v_{\ell,i,j}^n)^2 \right] - \\
 & - (\alpha \rho_g)^n_{i,j-1/2} \frac{1}{\Delta z} \left[(v_{g,i,j}^n)^2 - (v_{g,i,j-1}^n)^2 \right] + \\
 & \left. + ((1 - \alpha) \rho_\ell)^n_{i,j-1/2} \frac{1}{\Delta z} \left[(v_{\ell,i,j}^n)^2 - (v_{\ell,i,j-1}^n)^2 \right] \right] \left. \right\} - \\
 & - \left\{ \frac{1}{\Delta r r_i} \left[r_{i+1/2} (\alpha \rho_g v_g)^n_{i+1/2,j} \frac{1}{\Delta z} \left[(u_g)_{i+1/2,j+1/2}^n - (u_g)_{i+1/2,j-1/2}^n \right] \right. \right. \\
 & + ((1 - \alpha) \rho_\ell v_\ell)^n_{i+1/2,j} \frac{1}{\Delta z} \left[(u_\ell)_{i+1/2,j+1/2}^n - (u_\ell)_{i+1/2,j-1/2}^n \right] \left. \right] - \\
 & - r_{i-1/2} \left[(\alpha \rho_g v_g)^n_{i-1/2,j} \frac{1}{\Delta z} \left[(u_g)_{i-1/2,j+1/2}^n - (u_g)_{i-1/2,j-1/2}^n \right] + \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + ((1 - \alpha) \rho_\ell v_\ell)^n_{i-1/2, j} \frac{1}{\Delta z} \left[(u_\ell)^n_{i-1/2, j+1/2} - (u_\ell)^n_{i-1/2, j-1/2} \right] + \\
 & + \frac{1}{\Delta z} \left[(\alpha \rho_g u_g)^n_{i, j+1/2} \frac{1}{\Delta r} \left[(v_g)^n_{i+1/2, j+1/2} - (v_g)^n_{i-1/2, j+1/2} \right] + \right. \\
 & + ((1 - \alpha) \rho_\ell u_\ell)^n_{i, j+1/2} \frac{1}{\Delta r} \left[(v_\ell)^n_{i+1/2, j+1/2} - (v_\ell)^n_{i-1/2, j+1/2} \right] - \\
 & - \left. (\alpha \rho_g u_g)^n_{i, j-1/2} \frac{1}{\Delta r} \left[(v_g)^n_{i+1/2, j-1/2} - (v_g)^n_{i-1/2, j-1/2} \right] + \right. \\
 & \left. + ((1 - \alpha) \rho_\ell u_\ell)^n_{i, j-1/2} \frac{1}{\Delta r} \left[(v_\ell)^n_{i+1/2, j-1/2} - (v_\ell)^n_{i-1/2, j-1/2} \right] \right] + \\
 & + \frac{g_z}{\Delta z} \left\{ \left[\alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_\ell \right]^n_{i, j+1/2} - \left[\alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_\ell \right]^n_{i, j-1/2} \right\} + \\
 & + \frac{1}{\Delta r r_i} \left\{ r_{i+1/2} \left[\mu_g \alpha_{i+1/2, j} \frac{1}{\Delta r^2 r_{i+1}} \left[(ru_g)^n_{i+3/2, j} - (ru_g)^n_{i+1/2, j} \right] - \right. \right. \\
 & - \left. \frac{1}{\Delta r^2 r_i} \left[(ru_g)^n_{i+1/2, j} - (ru_g)^n_{i-1/2, j} \right] + \right. \\
 & + \left. \frac{1}{\Delta z^2} \left[u_g^n_{i+1/2, j+1} - 2 u_g^n_{i+1/2, j} + u_g^n_{i+1/2, j-1} \right] + \right. \\
 & + \left. \mu_\ell (1 - \alpha)^n_{i+1/2, j} \left[\frac{1}{\Delta r^2 r_{i+1}} \left[(ru_\ell)^n_{i+3/2, j} - (ru_\ell)^n_{i+1/2, j} \right] - \right. \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{1}{\Delta r^2 r_i} \left[(ru_\ell)^n_{i+1/2,j} - (ru_\ell)^n_{i-1/2,j} \right] + \\
& + \frac{1}{\Delta z^2} \left[u_\ell^n_{i+1/2,j+1} - 2u_\ell^n_{i+1/2,j} + u_\ell^n_{i+1/2,j-1} \right] - \\
& - r_{i-1/2} \left[\mu_g^n_{i-1/2,j} \left[\frac{1}{\Delta r^2 r_i} \left[(ru_g)^n_{i+1/2,j} - (ru_g)^n_{i-1/2,j} \right] - \right. \right. \\
& - \frac{1}{\Delta r^2 r_{i-1}} \left[(ru_g)^n_{i-1/2,j} - (ru_g)^n_{i-3/2,j} \right] + \\
& + \frac{1}{\Delta z^2} \left[u_g^n_{i-1/2,j+1} - 2u_g^n_{i-1/2,j} + u_g^n_{i-1/2,j-1} \right] + \\
& + \mu_\ell (1-\alpha)^n_{i-1/2,j} \left[\frac{1}{\Delta r^2 r_i} \left[(ru_\ell)^n_{i+1/2,j} - (ru_\ell)^n_{i-1/2,j} \right] - \right. \\
& - \frac{1}{\Delta r^2 r_{i-1}} \left[(ru_\ell)^n_{i-1/2,j} - (ru_\ell)^n_{i-3/2,j} \right] + \\
& + \left. \left. \frac{1}{\Delta z^2} \left[u_\ell^n_{i-1/2,j+1} - 2u_\ell^n_{i-1/2,j} + u_\ell^n_{i-1/2,j-1} \right] \right] \right\} + \\
& + \frac{1}{\Delta z} \left\{ \left[\mu_g^n_{i,j+1/2} \left[\frac{1}{r_i} \left[\frac{r_{i+1/2}}{\Delta r^2} \left[v_g^n_{i+1,j+1/2} - v_g^n_{i,j+1/2} \right] - \right. \right. \right. \right. \right. \\
& - \left. \left. \frac{r_{i-1/2}}{\Delta r^2} \left[v_g^n_{i,j+1/2} - v_g^n_{i-1,j+1/2} \right] \right] \right] + \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{1}{\Delta z^2} \left(v_{g_{i,j+3/2}}^n - 2 v_{g_{i,j+1/2}}^n + v_{g_{i,j-1/2}}^n \right) + \\
 & + \mu_\ell (1 - \alpha)_{i,j+1/2}^n \left(\frac{1}{r_i} \left(\frac{r_{i+1/2}}{\Delta r^2} \left(v_{\ell_{i+1,j+1/2}}^n - v_{\ell_{i,j+1/2}}^n \right) - \right. \right. \\
 & - \left. \left. \frac{r_{i-1/2}}{\Delta r^2} \left(v_{\ell_{i,j+1/2}}^n - v_{\ell_{i-1,j+1/2}}^n \right) \right) \right) + \\
 & + \left. \frac{1}{\Delta z^2} \left(v_{\ell_{i,j+3/2}}^n - 2 v_{\ell_{i,j+1/2}}^n + v_{\ell_{i,j-1/2}}^n \right) \right] - \\
 & - \left[\mu_g \alpha_{i,j-1/2}^n \left(\frac{1}{r_i} \left(\frac{r_{i+1/2}}{\Delta r^2} \left(v_{g_{i+1,j-1/2}}^n - v_{g_{i,j-1/2}}^n \right) - \right. \right. \right. \\
 & - \left. \left. \frac{r_{i-1/2}}{\Delta r^2} \left(v_{g_{i,j-1/2}}^n - v_{g_{i-1,j-1/2}}^n \right) \right) \right) + \\
 & + \frac{1}{\Delta z^2} \left(v_{g_{i,j+1/2}}^n - 2 v_{g_{i,j-1/2}}^n + v_{g_{i,j-3/2}}^n \right) + \\
 & + \mu_\ell (1 - \alpha)_{i,j-1/2}^n \left(\frac{1}{r_i} \left(\frac{r_{i+1/2}}{\Delta r^2} \left(v_{\ell_{i+1,j-1/2}}^n - v_{\ell_{i,j-1/2}}^n \right) - \right. \right. \\
 & - \left. \left. \frac{r_{i-1/2}}{\Delta r^2} \left(v_{\ell_{i,j-1/2}}^n - v_{\ell_{i-1,j-1/2}}^n \right) \right) \right) + \\
 & + \left. \frac{1}{\Delta z^2} \left(v_{\ell_{i,j+1/2}}^n - 2 v_{\ell_{i,j-1/2}}^n + v_{\ell_{i,j-3/2}}^n \right) \right] \left. \right\}
 \end{aligned}$$

(3.41)

3.2.3 Condições de Contorno

Como no caso das equações de campo para cada uma das fases, as equações de balanço de massa e quantidade de movimento nas interfaces das fases e dos contornos necessitam ser completadas por leis constitutivas⁽⁹⁾, isto é, por condições de contorno.

Basicamente, as condições de contorno dividem-se em duas categorias⁽¹⁷⁾:

- condições de contorno físicas;
- condições de contorno matemáticas.

As primeiras são impostas pelo comportamento do fluido dentro da região de estudo e são mais fáceis de serem compreendidas. As últimas, no entanto, dependem da modelação matemática do campo de escoamento, por exemplo, o número requerido de condições de contorno depende da ordem e do tipo das equações diferenciais.

A figura 3.3 dá uma visão geral do reticulado na região de escoamento do fluido e em suas vizinhanças.

As condições de contorno para este modelo matemático são:

a) Faixa de entrada:

a pressão P é dada;

as velocidades são obtidas pela aplicação da continuidade em $z=0$;

- linha de entrada

a fração de vazio α é dada;

as velocidades radiais u_g e u_ℓ são ambas zero (regime plenamente desenvolvido);

as velocidades v_g e v_ℓ são dadas.

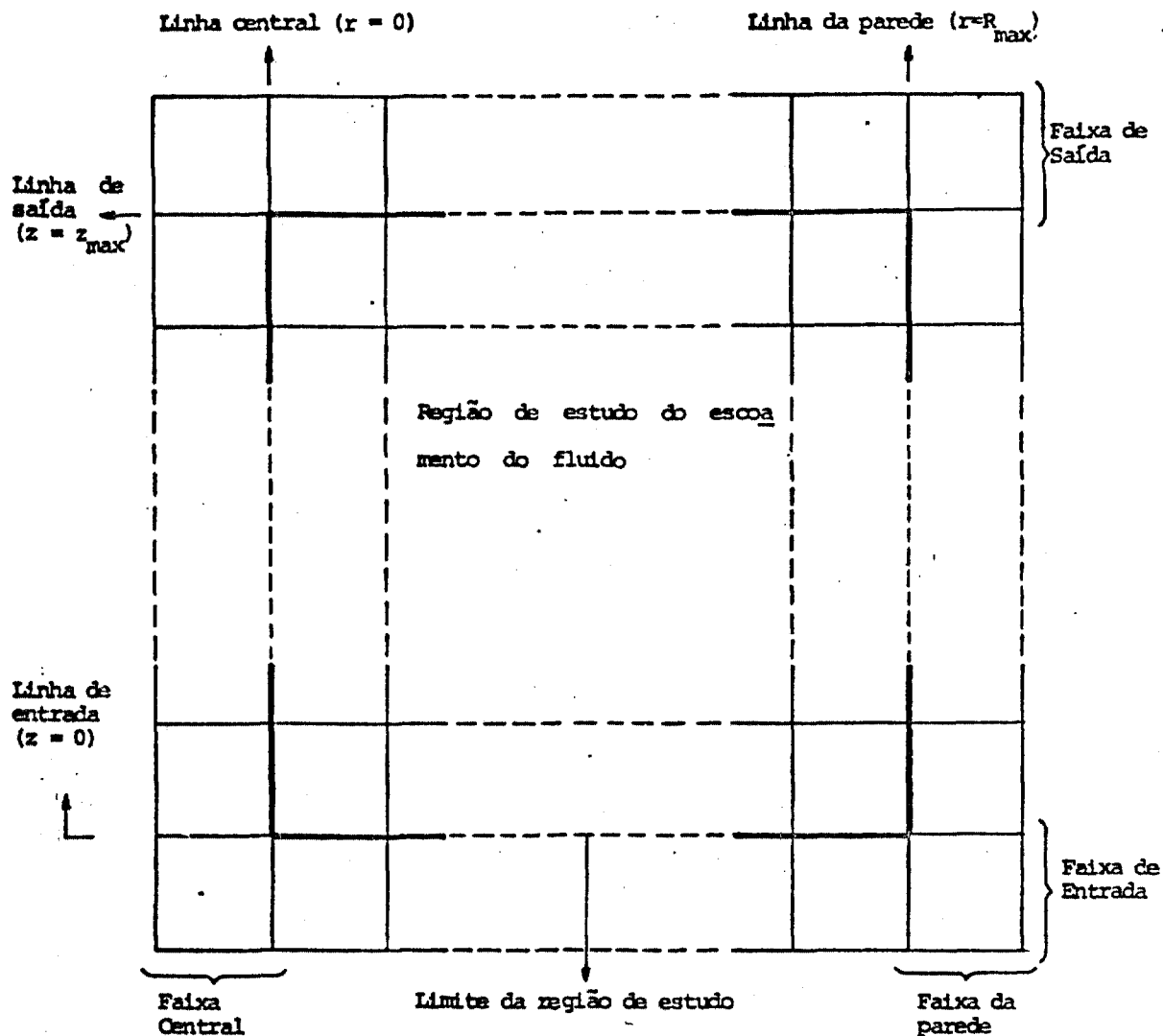


Figura 3.3 - Visão geral do reticulado.

b) Faixa de saída:

a pressão \underline{P} é obtida pela equação 3.43;

o gradiente axial de velocidade é zero.

c) Faixa central:

os valores das grandezas nesta faixa são iguais aos valores das grandezas da região de estudo que equidistam da linha central;

- linha central ($r=0$)

as velocidades radiais u_g e u_ℓ são ambas zero (simetria).

d) Faixa da parede:

a pressão \underline{P} é obtida pela equação 3.42;

as velocidades são obtidas pela aplicação da continuidade em $r = r_{max}$;

- linha da parede ($r = R_{\max}$)

a fração de vazio α é zero;

as velocidades são todas iguais a zero (condição de "no-slip" e impermeabilidade da parede).

As equações da pressão nos contornos da parede e da saída são obtidas, respectivamente, das equações 3.20 e 3.21.

- Equação da pressão no contorno da parede

$$P_{i+1,j}^n = P_{i,j}^n + \frac{u_\ell}{\Delta r} \left[\alpha_{i+1/2,j}^{n+1/2,m} \left(\frac{r_{i+3/2}}{r_{i+1}} u_{g_{i+3/2,j}}^{n+1/2,m} + \frac{r_{i-1/2}}{r_i} u_{g_{i-1/2,j}}^{n+1/2,m} \right) + (1 - \alpha)_{i+1/2,j}^{n+1/2,m} \left(\frac{r_{i+3/2}}{r_{i+1}} u_{\ell_{i+3/2,j}}^{n+1/2,m} + \frac{r_{i-1/2}}{r_i} u_{\ell_{i-1/2,j}}^{n+1/2,m} \right) \right] \quad (3.42)$$

- Equação da pressão no contorno de saída

$$P_{i,j+1}^n = P_{i,j}^n - \Delta z \left[(\alpha \rho_g u_g)_{i,j+1/2}^{n+1/2,m} \frac{1}{\Delta r} \left(v_{g_{i+1/2,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{g_{i-1/2,j+1/2}}^{n+1/2,m} \right) + \left((1 - \alpha) \rho_\ell u_\ell \right)_{i,j+1/2}^{n+1/2,m} \frac{1}{\Delta r} \left(v_{\ell_{i+1/2,j+1/2}}^{n+1/2,m} - v_{\ell_{i-1/2,j+1/2}}^{n+1/2,m} \right) \right] + \Delta z g_z \left(\alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_\ell \right)_{i,j+1/2}^{n+1/2,m} \quad (3.43)$$

3.3 PROGRAMA DE COMPUTADOR

O sistema de equações diferenciais que define o modelo

matemático foi obtido na secção 3.1 e transformado em um sistema de equações algébricas, segundo o procedimento numérico definido na secção 3.2. Para resolver esse sistema, elaborou-se um programa de computador cujas características principais são mencionadas a seguir.

O programa contém setenta e três subrotinas escritas em linguagem FORTRAN IV. O programa fonte e a identificação das variáveis usadas nele são encontrados no Apêndice C. No programa fonte não foram incluídas as subrotinas MBØ1CD, para inversão de matriz, e PLOTT, para traçar gráfico, pois estas foram obtidas de catálogos de subrotinas já existentes.

O conjunto dos dados de entrada (Apêndice A) alimenta o programa para poder ser processado e fornecer as respostas do problema na forma de tabelas e gráficos (Apêndice B). As tabelas e gráficos gerados fornecem as distribuições radiais, para cada nível axial do duto, da pressão, da fração de vazio e das velocidades radial e axial do gás e do líquido.

Todos os testes realizados com o programa foram feitos em um computador IBM/370, modelo 155, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

A figura 3.4 mostra o diagrama de blocos do programa para ter-se noção da estrutura de seu funcionamento.

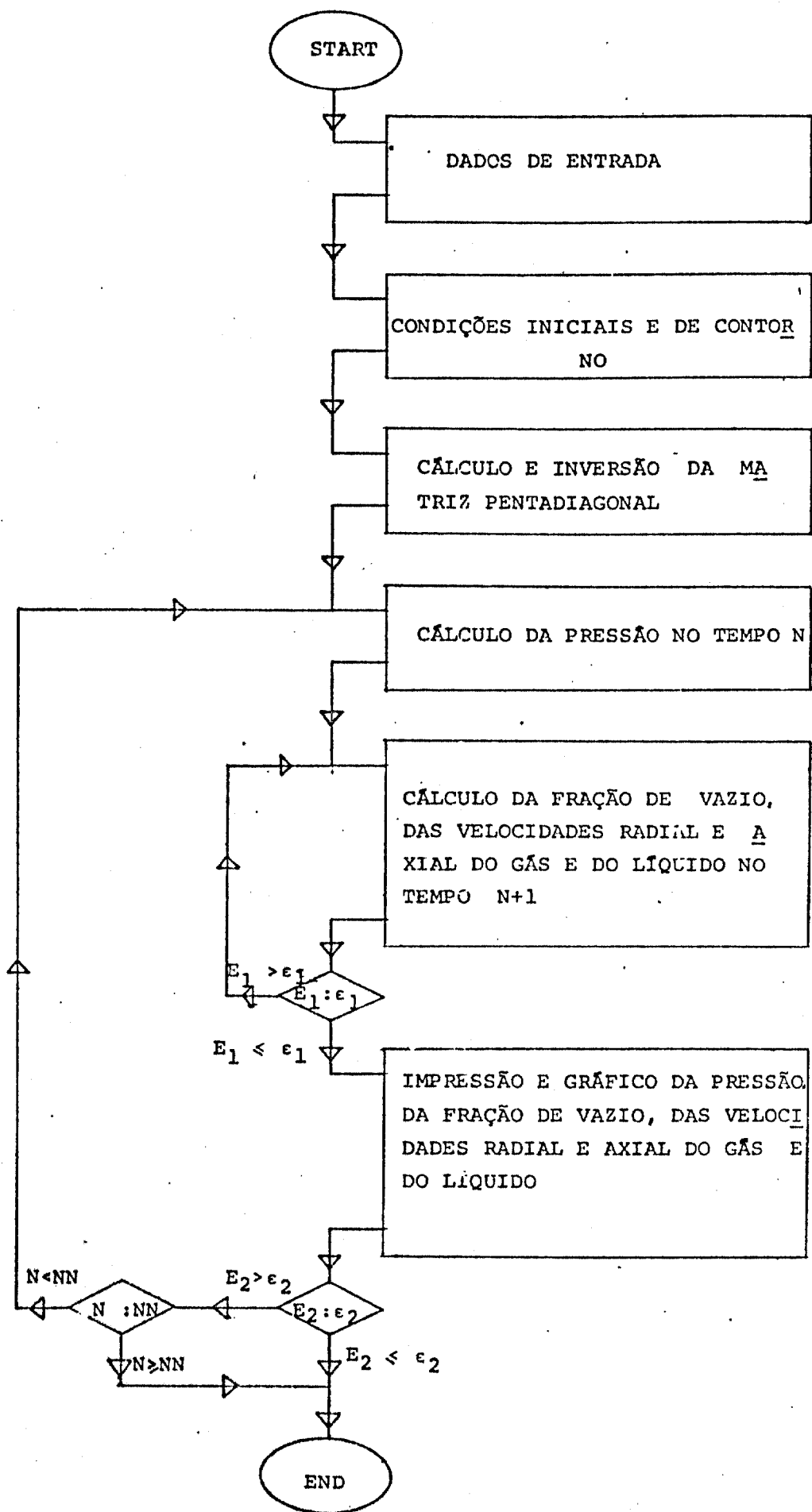


Figura 3.4 - Diagrama de blocos do programa.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os documentos encontrados de natureza teórica ou experimental não serviram para uma comparação com os resultados dessa dissertação, devido ao fato de sempre existirem alguns detalhes que o impedisse, tais como: diferenças na geometria do escoamento do fluido, natureza da mistura, falta de distribuição radial das grandezas de interesse, etc.

Para obter-se e analisar os resultados, foi elaborado um esquema para testar o desenvolvimento do método numérico e o comportamento fenomenológico de alguns parâmetros.

Os testes de natureza numérica visam avaliar a validade do procedimento numérico utilizado, verificando precisão, convergência e estabilidade. Deve-se frisar que a realização destes testes é uma condição necessária, mas não suficiente em relação à consistência dos resultados obtidos, pois pode haver erros de natureza intrínseca na formação do modelo matemático.

Os testes de comportamento fenomenológico visam avaliar alguns parâmetros e, além disso, a pesquisa do valor ótimo de certas grandezas dentro de uma determinada faixa de atuação para um dado problema.

Vários conjuntos de dados de entrada foram testados até escolher-se um para servir de referência aos demais testes de interesse.

4.1 Caso Referência

Este conjunto de dados de entrada (tabela 4.1) serve apenas para verificar o método de solução, não representando necessariamente algum caso prático. Ele pode ser considerado como o ponto de partida para os testes futuros.

A figura 4.1 mostra o gráfico da pressão do fluido pelo raio. Nota-se que a pressão se mantém constante através do raio para um mesmo nível axial. Também se nota que existe uma queda de pressão entre os pontos de entrada e saída de fluido no duto.

O comportamento da fração de vazio, figura 4.2, na entrada do duto é praticamente constante em relação ao raio. Já na saída, nota-se que a fração de vazio é bem maior na região central do duto.

O comportamento das velocidades radial do vapor e do líquido em relação ao raio, figuras 4.3 e 4.4, mostra que no escoamento do vapor, através dos pontos de entrada e saída do duto existe uma tendência em deslocar-se para a região central ($r \rightarrow 0$). Ao contrário, devido à sua maior densidade, o líquido tende a deslocar-se para a região periférica ($r \rightarrow R$) sempre com velocidade menor que a do vapor.

Nas figuras 4.5 e 4.6 nota-se que as velocidades axial do vapor e do líquido são maiores na região central do duto e que a razão entre as velocidades do líquido e do vapor é de aproximadamente 0.4. Estes fatos já eram previstos, pois o modelo utilizado emprega a condição de "no slip" na interface do fluido com a parede sólida, e a razão entre as densidades do líquido com o vapor é de 40.

Dimensionamento numérico e espacial

cinco níveis de malhas radiais
cinco níveis de malhas axiais
comprimento radial $9 \cdot 10^{-2}$ m
comprimento axial 1,2 m

Parâmetros físicos

densidade do vapor	20Kg/m^3
densidade do líquido	800Kg/m^3
aceleração da gravidade	$9,8 \text{m/s}^2$
viscosidade do vapor	$1,75 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/m-s}$

viscosidade do líquido	$1,09 \cdot 10^{-4}$ Kg/m-s
coeficiente de arrasto de interface	10^{-2}
raio médio da bolha de vapor	10^{-3} m

Parâmetros numéricos

intervalo de tempo	10^{-4} s
precisão de 10^{-5} entre intervalos de tempo	
precisão de 10^{-5} entre iterações em um intervalo de tempo	
parâmetro de relaxação	1

Condições iniciais

fração de vazio	0.2
velocidade radial do vapor	$- 2 \cdot 10^{-3}$ m/s
velocidade radial do líquido	$1 \cdot 10^{-3}$ m/s
velocidade axial do vapor	2 m/s
velocidade axial do líquido	1 m/s

Estimativas iniciais

fração de vazio	0.2
velocidade radial do vapor	$- 2 \cdot 10^{-3}$ m/s
velocidade radial do líquido	$1 \cdot 10^{-3}$ m/s
velocidade axial do vapor	2 m/s
velocidade axial do líquido	1 m/s

Condições de contorno

fração de vazio na entrada	0.2
pressão na entrada	$6,894 \cdot 10^6$ N/m ²
velocidade do líquido na entrada	1 m/s
fração de vazio na parede	0
velocidade radial do vapor na parede	0
velocidade radial do líquido na parede	0

Tabela 4.1 - Conjunto dos dados de entrada do caso referência.

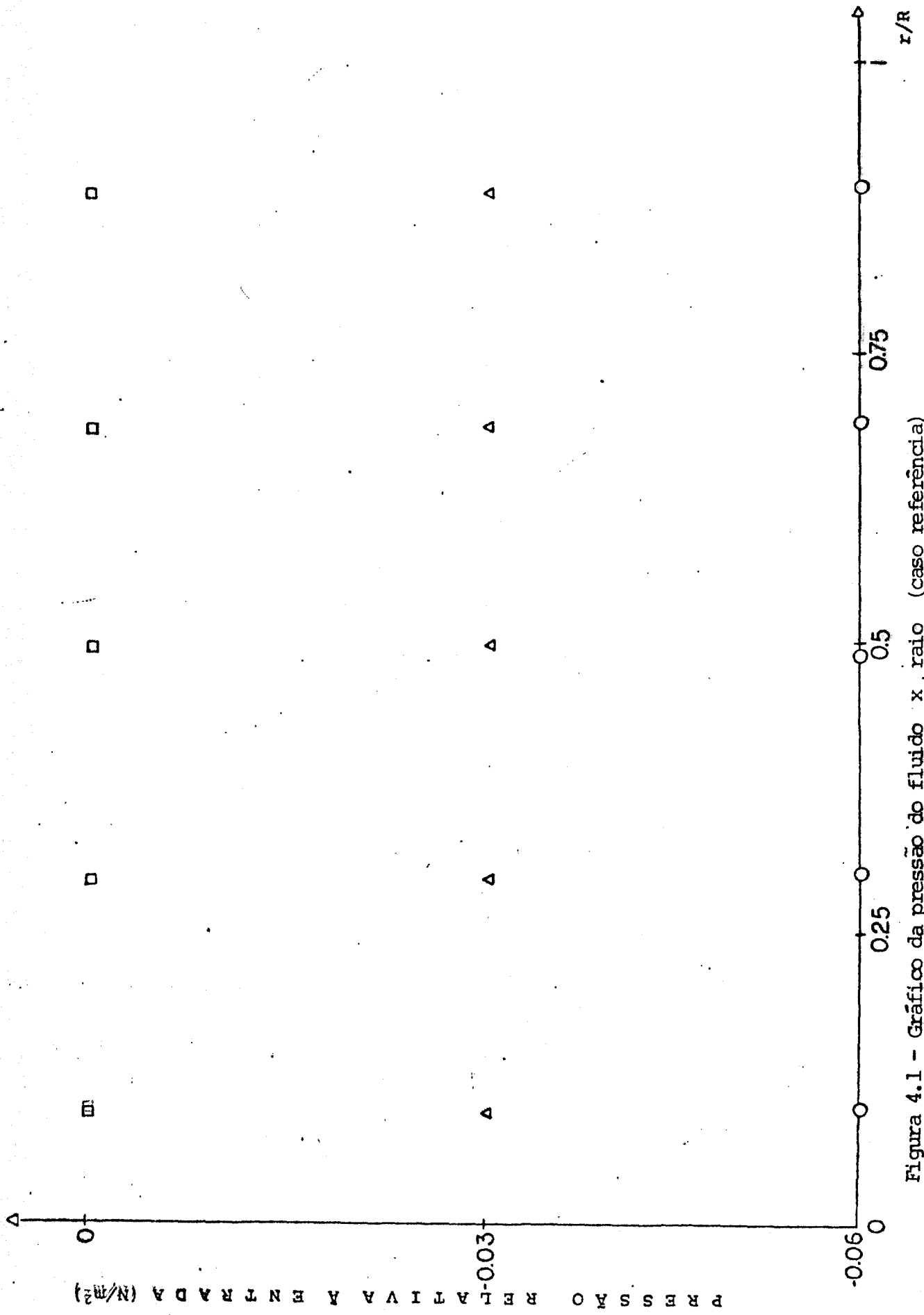


Figura 4.1 - Gráfico da pressão do fluido x raio (caso referência)

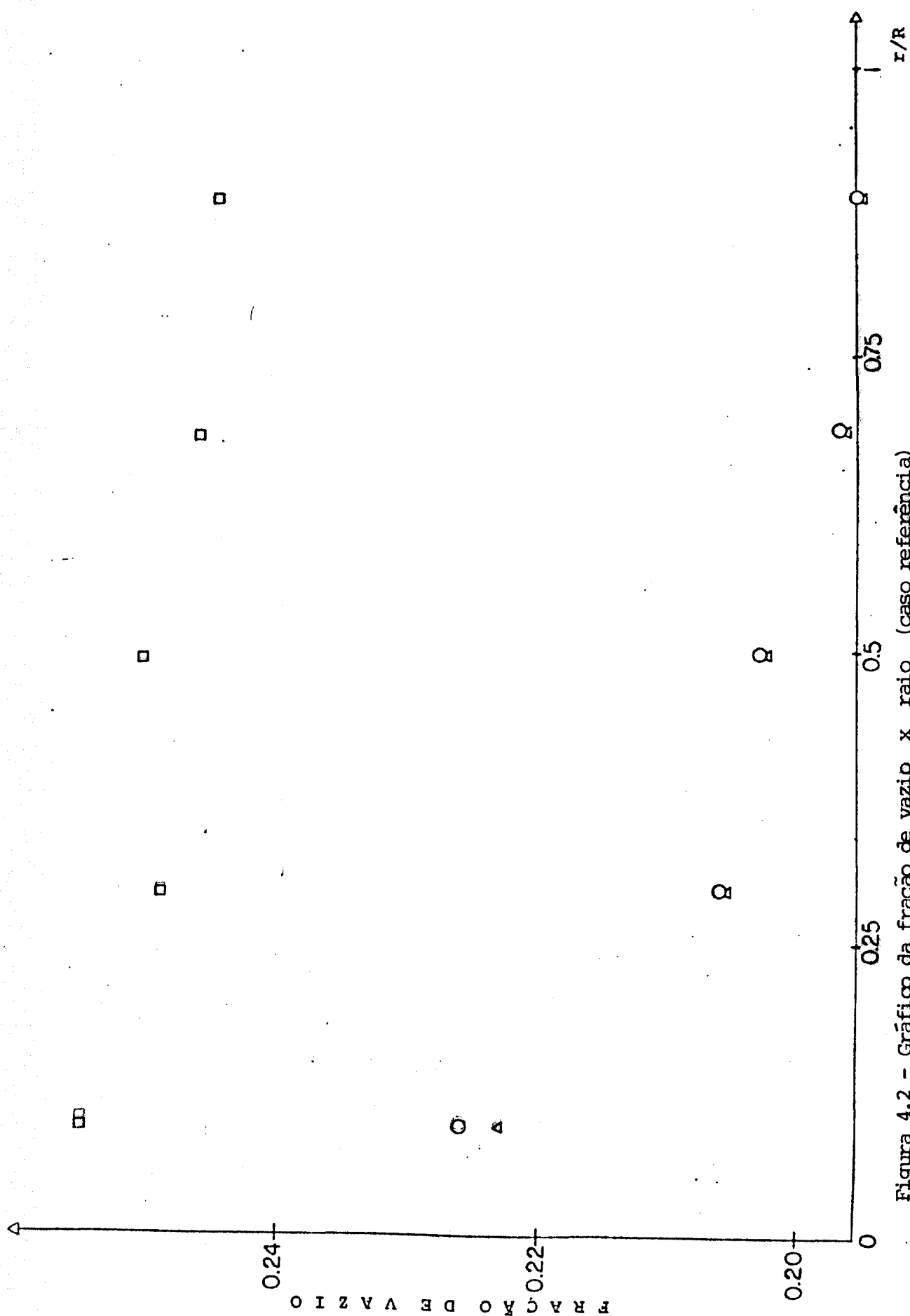
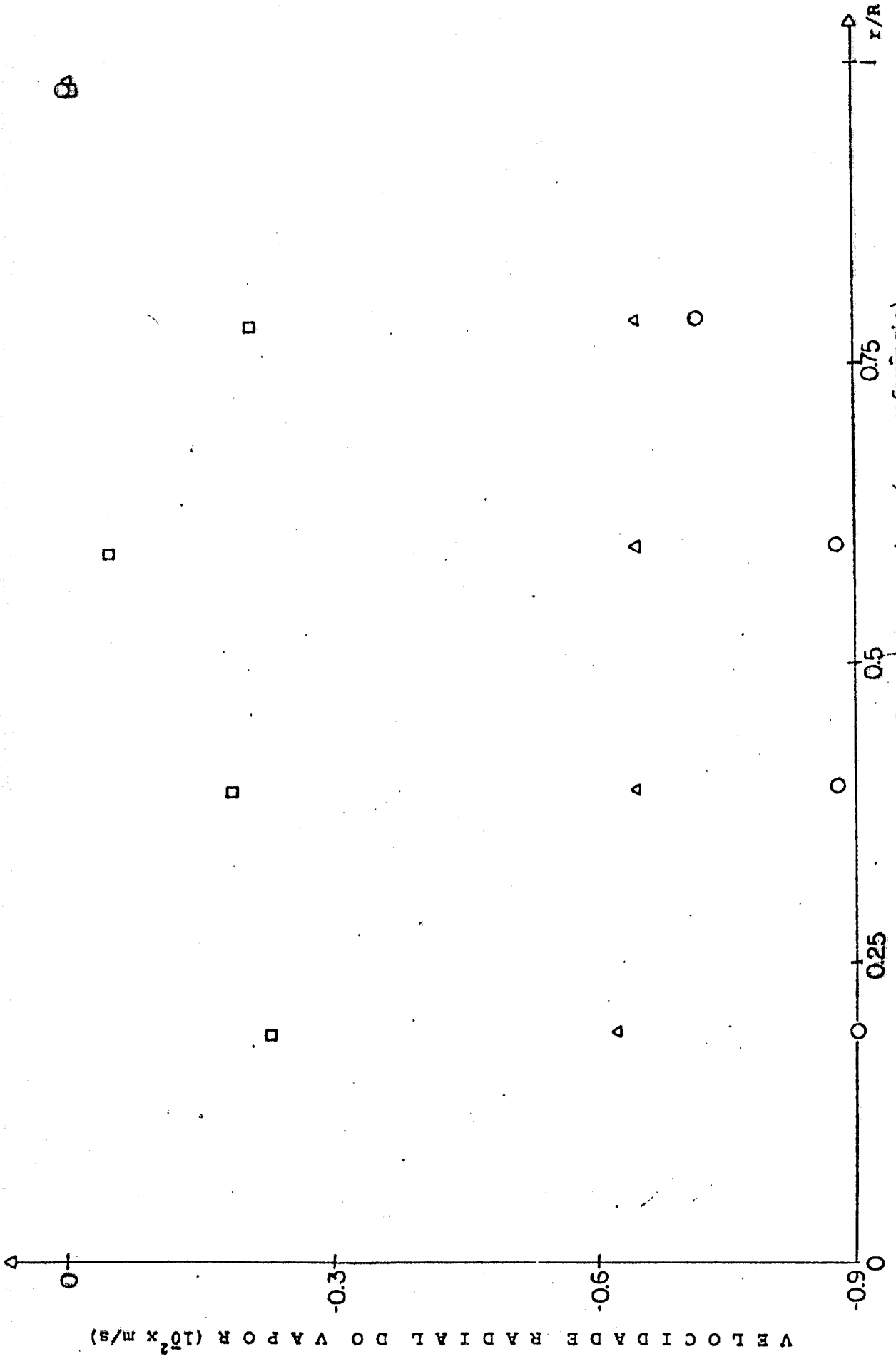


Figura 4.2 - Gráfico da fração de vazio x raio (caso referência)



- Nível de entrada
- △ Meia altura
- Nível de saída

Figura 4.3 - Gráfico da velocidade radial do vapor x raio (caso referência)

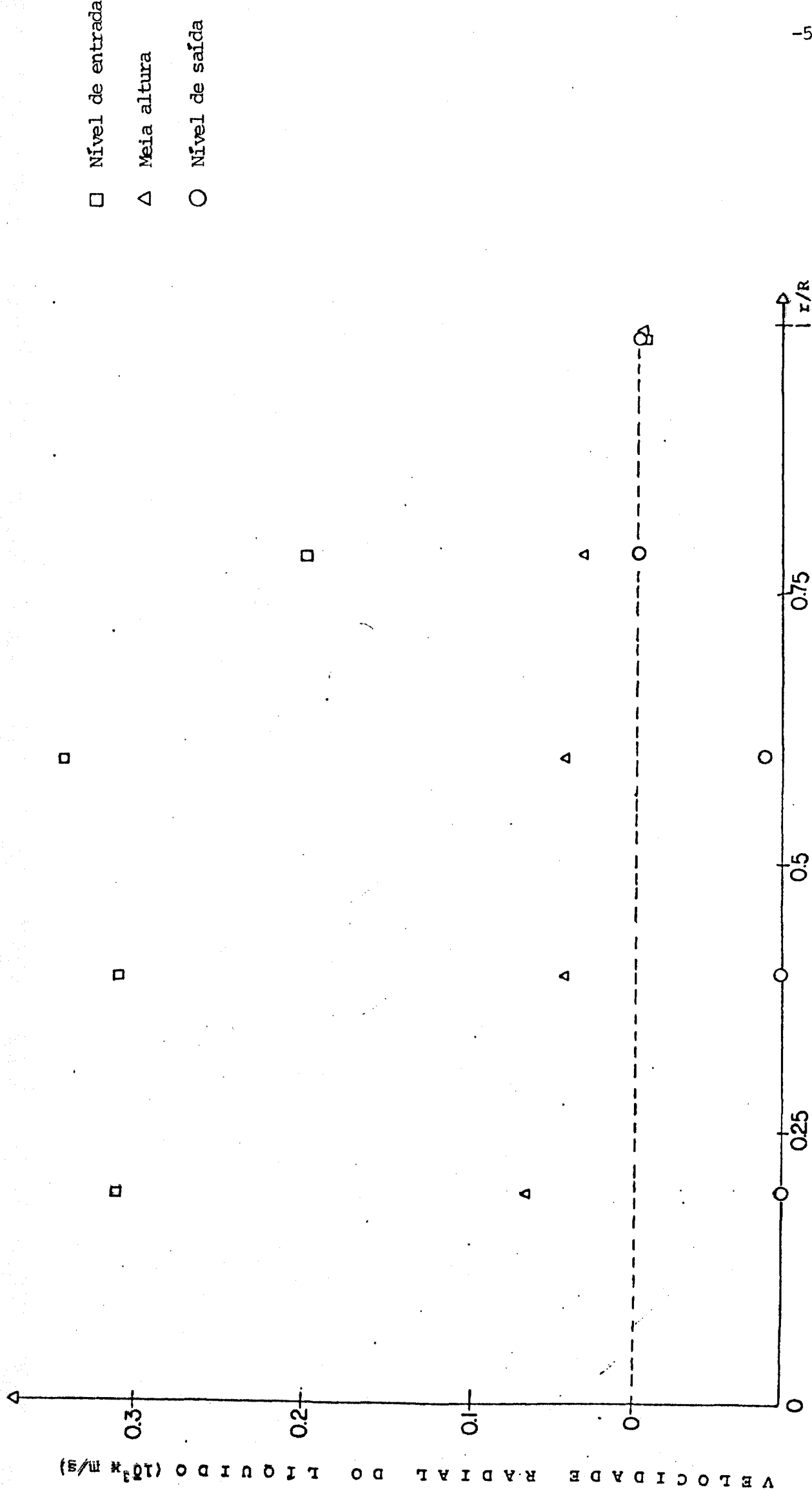


Figura 4.4 - Gráfico da velocidade radial do líquido x raio (caso referência)

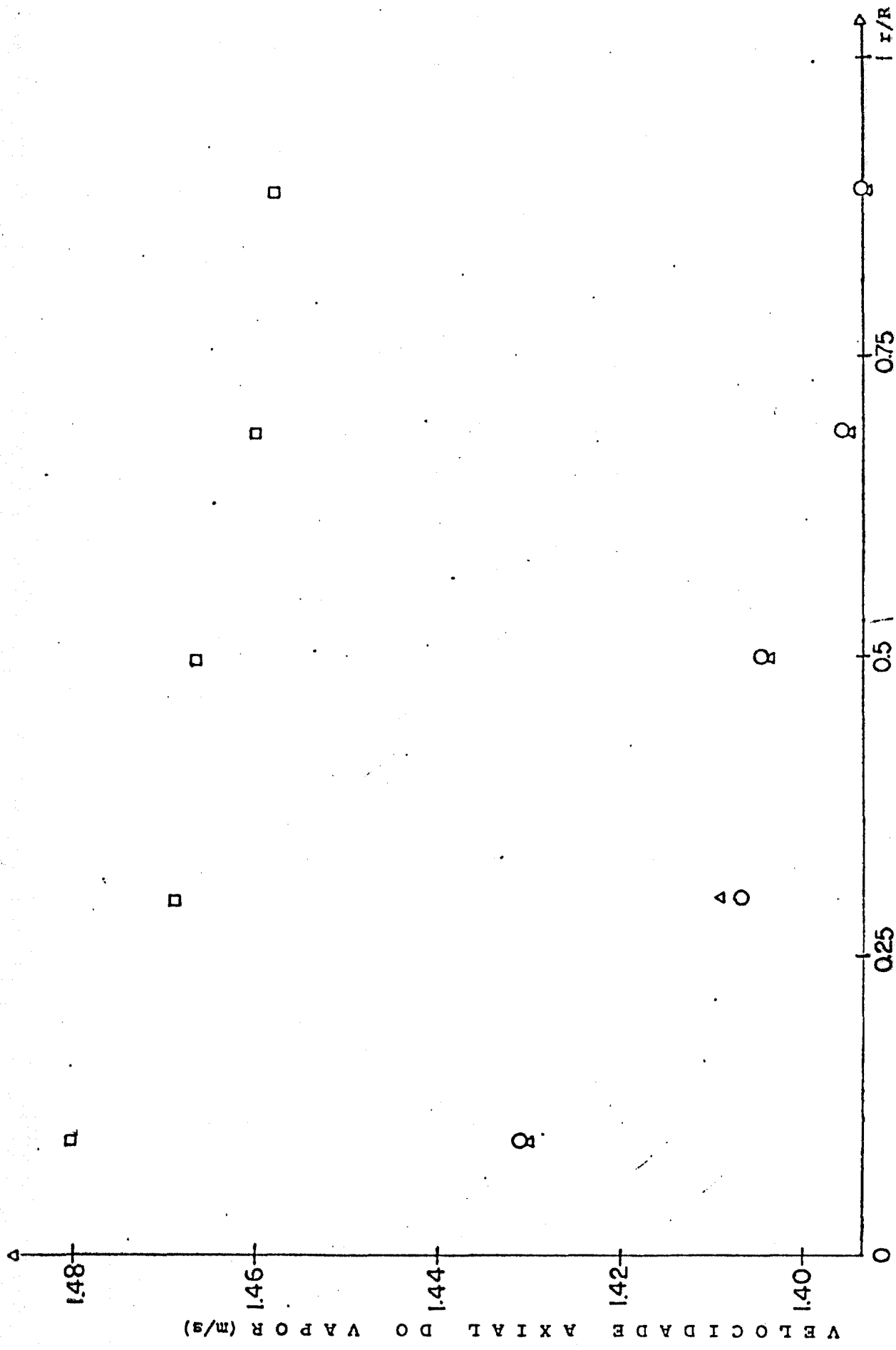


Figura 4.5 - Gráfico da velocidade axial do vapor x raio (caso referência)

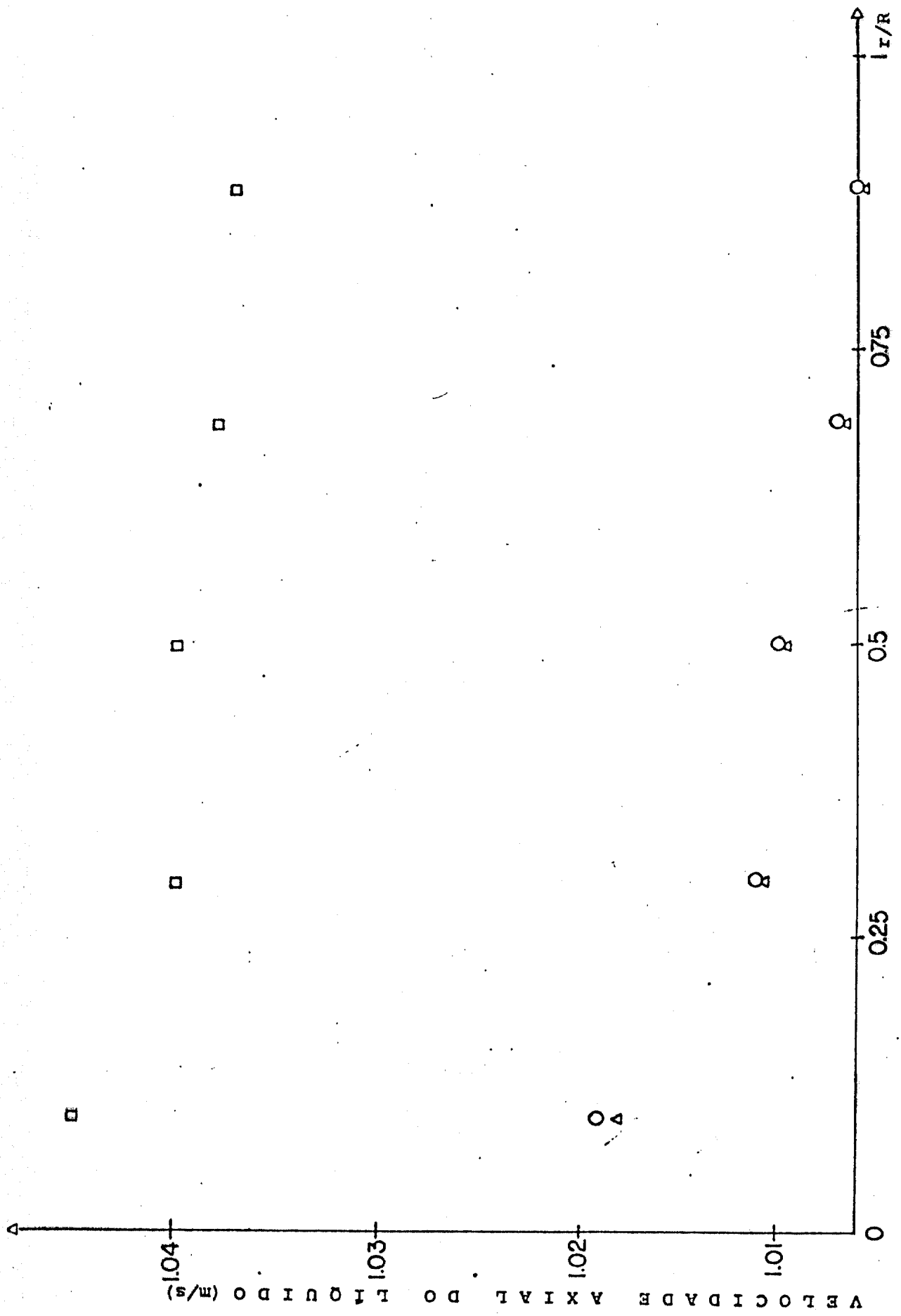


Figura 4.6 - Gráfico da velocidade axial do líquido x raio (caso referência)

4.2 VARIAÇÕES NO MÉTODO NUMÉRICO

Esta secção mostra uma tentativa de otimização do procedimento numérico empregado para resolver o sistema de equações definido em 3.1.3.4.

Para tentar obter resultados tão precisos quanto aos mostrados na secção anterior (caso referência), porém com um menor tempo de CPU, foram realizados dois tipos de testes:

- verificação do método explícito;
- variação do parâmetro de relaxação.

4.2.1 Método Explícito

Esta modificação faz com que toda primeira iteração executada em um intervalo de tempo tenha os seus resultados convergidos. Sendo assim, o cálculo dos resultados no tempo $N + 1$ fica dependendo apenas do valor dos resultados obtidos no tempo N , tornando assim o método explícito.

Comparando-se os resultados obtidos nesta secção, tabela 4.2, com os do caso referência, tabela 4.3, observa-se que quase não existem diferenças entre eles, sendo que os resultados obtidos através do método explícito consomem um tempo de CPU de doze minutos, ao passo que os do caso referência dezoito minutos e trinta segundos.

Conjunto dos dados de entrada

- Parâmetros numéricos

Precisão de 10^{+50} entre iterações em um intervalo de tempo.

O restante dos dados de entrada é igual ao conjunto dos dados de entrada do caso referência.

Nível Axial	Fração de Vazio
2	0.2545581
3	0.2175841
4	0.2198225
5	0.2217174
6	0.2224257
7	0.2223253
8	0.2233080
9	0.2206977
10	0.2263239
11	0.2180020

Tabela 4.2 - Distribuição axial da fração de vazio na coluna mais central do duto (caso referência)

Nível Axial	Fração de Vazio
2	0.2544892
3	0.2175292
4	0.2197821
5	0.2216844
6	0.2223925
7	0.2222988
8	0.2232672
9	0.2206808
10	0.2262781
11	0.2179784

Tabela 4.3 - Distribuição axial da fração de vazio na coluna mais central do duto (método explícito).

4.2.2 Relaxação

Com esta modificação, procurou-se aplicar uma sub-relaxação à equação da pressão,

$$P^{n+1} = \theta P^{n+1} + (1 - \theta) P^n \tag{4.1}$$

onde θ é o parâmetro de sub-relaxação, contudo o processamento de dados praticamente não refletiu esta diferença. As tabelas 4.4 e 4.5 mostram os resultados das velocidades axiais do vapor e do líquido, sem e com sub-relaxação, respectivamente.

Conjunto dos dados de entrada

- Parâmetros numéricos

Parâmetro de relaxação 0.1

O restante dos dados é igual ao conjunto dos dados de entrada do caso referência.

Nível Axial	Velocidade Axial do vapor		Velocidade Axial do líquido	
2	0.1476887	10 ¹	0.1040286	10 ¹
3	0.1420789	10 ¹	0.1013892	10 ¹
4	0.1424069	10 ¹	0.1013611	10 ¹
5	0.1425651	10 ¹	0.1013908	10 ¹
6	0.1425962	10 ¹	0.1013961	10 ¹
7	0.1426467	10 ¹	0.1014046	10 ¹
8	0.1425477	10 ¹	0.1013846	10 ¹
9	0.1427292	10 ¹	0.1014227	10 ¹
10	0.1426268	10 ¹	0.1014514	10 ¹
11	0.1408285	10 ¹	0.1004665	10 ¹

Tabela 4.4 - Distribuição axial das velocidades axiais do vapor e do líquido na coluna mais central do duto (caso referência).

Nível Axial	Velocidade Axial do vapor		Velocidade Axial do líquido	
2	0.1473196	10^1	0.1038988	10^1
3	0.1416054	10^1	0.1012334	10^1
4	0.1419195	10^1	0.1012012	10^1
5	0.1420863	10^1	0.1012318	10^1
6	0.1421226	10^1	0.1012377	10^1
7	0.1421743	10^1	0.1012463	10^1
8	0.1420830	10^1	0.1012276	10^1
9	0.1422436	10^1	0.1012618	10^1
10	0.1421602	10^1	0.1012865	10^1
11	0.1406275	10^1	0.1004543	10^1

Tabela 4.5 - Distribuição axial das velocidades axiais do vapor e do líquido na coluna mais central do duto (sub-relaxação).

4.3 VERIFICAÇÃO DA PRECISÃO

Os testes desta secção fazem uma análise do comportamento na discretização temporal e espacial do método numérico empregado. Basicamente, procurou-se observar a influência do intervalo de tempo e do arranjo das malhas espaciais no comportamento do sistema de equações algébricas da secção 3.2.2. Para verificar isto, foram realizados dois tipos de testes:

- passo de tempo;
- incremento espacial.

4.3.1 Passo de Tempo

Este tipo de teste foi realizado devido à grande importância do incremento de tempo no desempenho numérico e computacional das equações do programa.

Desde os primeiros testes realizados com o programa, o incremento de tempo foi um parâmetro difícil de ajustar-se. Verificou-se que vários testes realizados no início não

convergiam ou, então, praticamente não havia modificação no valor das grandezas com relação à condição inicial. Depois de vários testes para um conjunto de dados de entrada semelhante ao do caso referência, resolveu-se adotar para o incremento de tempo o valor de 10^{-4} s, pois, além de verificar a condição de Courant⁽⁸⁾

$\Delta t < \frac{\Delta x}{|v_x|}$, proporciona melhor desempenho ao programa.

O que esta secção faz é comparar os seus resultados referentes ao ciclo de tempo de número quatrocentos com o de número oitocentos do caso referência, pois o incremento de tempo usado nesta secção é o dobro em relação ao usado no caso referência.

Nas tabelas 4.6 e 4.7 nota-se que até a terceira casa depois da vírgula os resultados são idênticos.

Conjunto dos dados de entrada

- Parâmetros numéricos

Intervalo de tempo $2 \cdot 10^{-4}$ s

O restante dos dados é igual ao conjunto dos dados de entrada do caso referência.

Nível Radial	2	3	4	5
Velocidade Radial do vapor	- 0.5308494 10 ⁻²	- 0.5340996 10 ⁻²	- 0.5348029 10 ⁻²	- 0.5168228 10 ⁻²
Velocidade Radial do líquido	0.5788082 10 ⁻⁴	0.4035967 10 ⁻⁴	0.3116011 10 ⁻⁴	0.3030364 10 ⁻⁴

Tabela 4.6 - Distribuição radial das velocidades radiais do vapor e do líquido à meia altura. (caso referência).

Nível Radial	2	3	4	5
Velocidade Radial do vapor	- 0.5287551 10 ⁻²	- 0.5333536 10 ⁻²	- 0.5347130 10 ⁻²	- 0.5171532 10 ⁻²
Velocidade Radial do líquido	0.5841559 10 ⁻⁴	0.4060262 10 ⁻⁴	0.3129784 10 ⁻⁴	0.3034213 10 ⁻⁴

Tabela 4.7 - Distribuição radial das velocidades radiais do vapor e do líquido à meia altura (passo de tempo)

4.3.2 Incremento Espacial

Até a secção anterior, usou-se para os cálculos um reticulado de 5 x 10 malhas em razão da simplicidade e rapidez no processamento dos dados, porém, na tentativa de encontrar outro conjunto de dados de entrada para servir de referência a testes futuros, elaborou-se um outro conjunto de dados de entrada de nome caso referência II, que deveria fornecer um maior detalhamento radial e axial das grandezas, sem propiciar a formação de oscilações em suas distribuições.

Após uma série de testes realizados, onde foram analisados aspectos tais como, detalhamento radial das grandezas, relação entre comprimento e altura da malha e memória e tempo de computação, escolheu-se para esse conjunto um reticulado de 8x15 malhas. Para esse reticulado, a razão entre a altura e o comprimento da malha praticamente não se alterou em relação ao do caso referência.

As figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 mostram, respectivamente, o comportamento das grandezas pressão, fração de vazio e velocidades radial e axial do vapor e do líquido na entrada, meia altura e saída do duto para o caso referência II.

Em virtude da dificuldade em obter-se uma malha computacional, de modo a proporcionar um bom desempenho ao programa, foram processados mais dois casos e comparados com o caso referência. As figuras 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17 mostram o comportamento das grandezas na saída do duto em relação à variação do número de malhas no reticulado.

Nota-se pela comparação das curvas destes três casos analisados que os resultados são bastante próximos. No total foram testados reticulados com 50, 60, 80, 100, 120, 135 e 150 malhas, porém apenas os testes que utilizaram 50, 100, 120 e 150 malhas foram mostrados nesta secção.

Conjuntos dos dados de entrada

Caso 1 (caso referência II)

- Dimensionamento numérico e espacial

8 malhas radiais
15 malhas axiais

- Parâmetros numéricos

Precisão de 10^{+50} entre iterações em um intervalo de tempo.

Caso 2

- Dimensionamento numérico e espacial

10 malhas radiais
10 malhas axiais

- Parâmetros numéricos

Precisão de 10^{+50} entre iterações em um intervalo de tempo.

Caso 3

- Dimensionamento numérico e espacial

10 malhas radiais
15 malhas axiais

- Parâmetros numéricos

Precisão de 10^{+50} entre iterações em um intervalo de tempo

O restante dos dados é igual ao conjunto dos dados de entrada do caso referência.

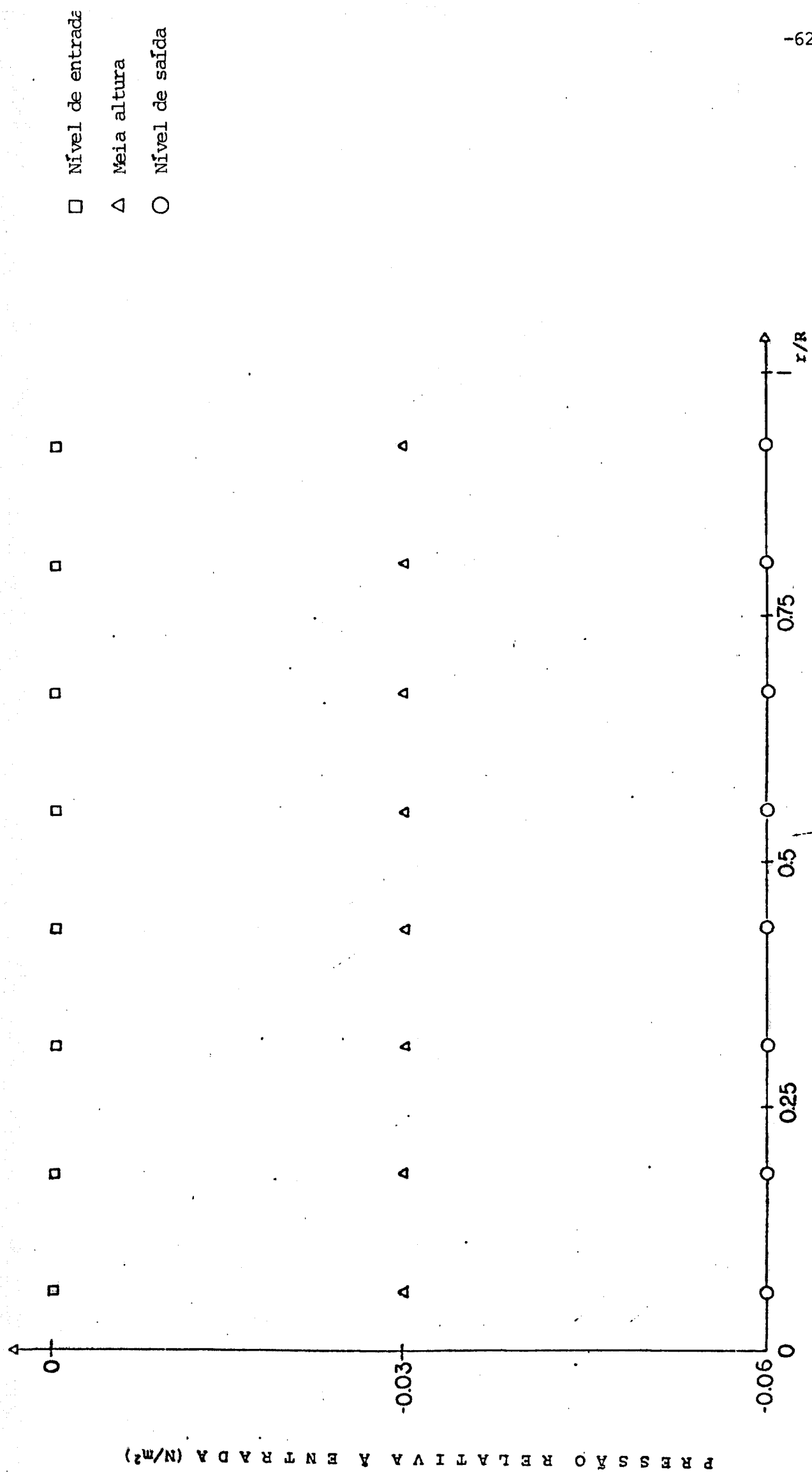


Figura 4.7 - Gráfico da pressão do fluido x raio (caso referência II)

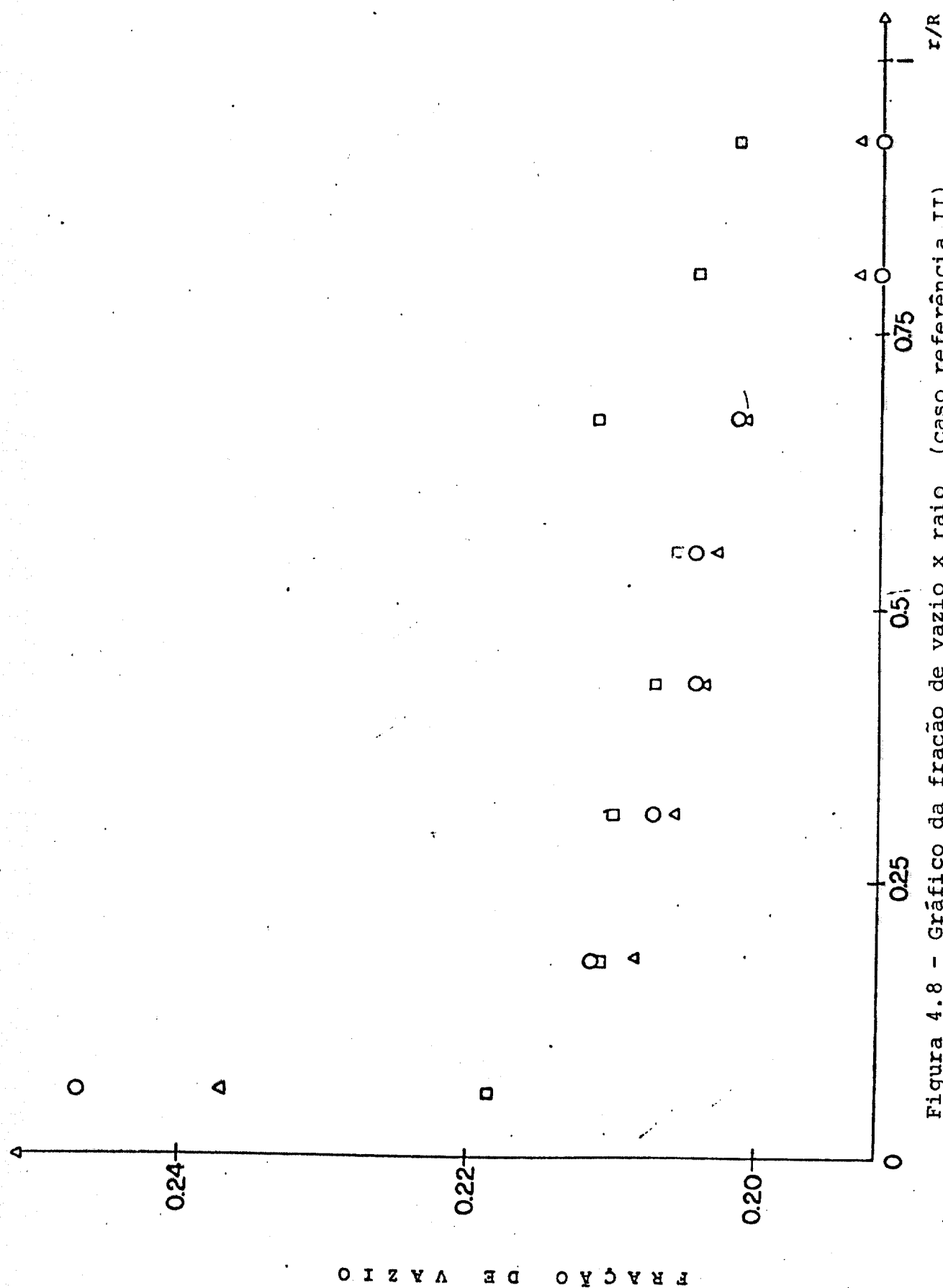


Figura 4.8 - Gráfico da fração de vazio x raio (caso referência II)

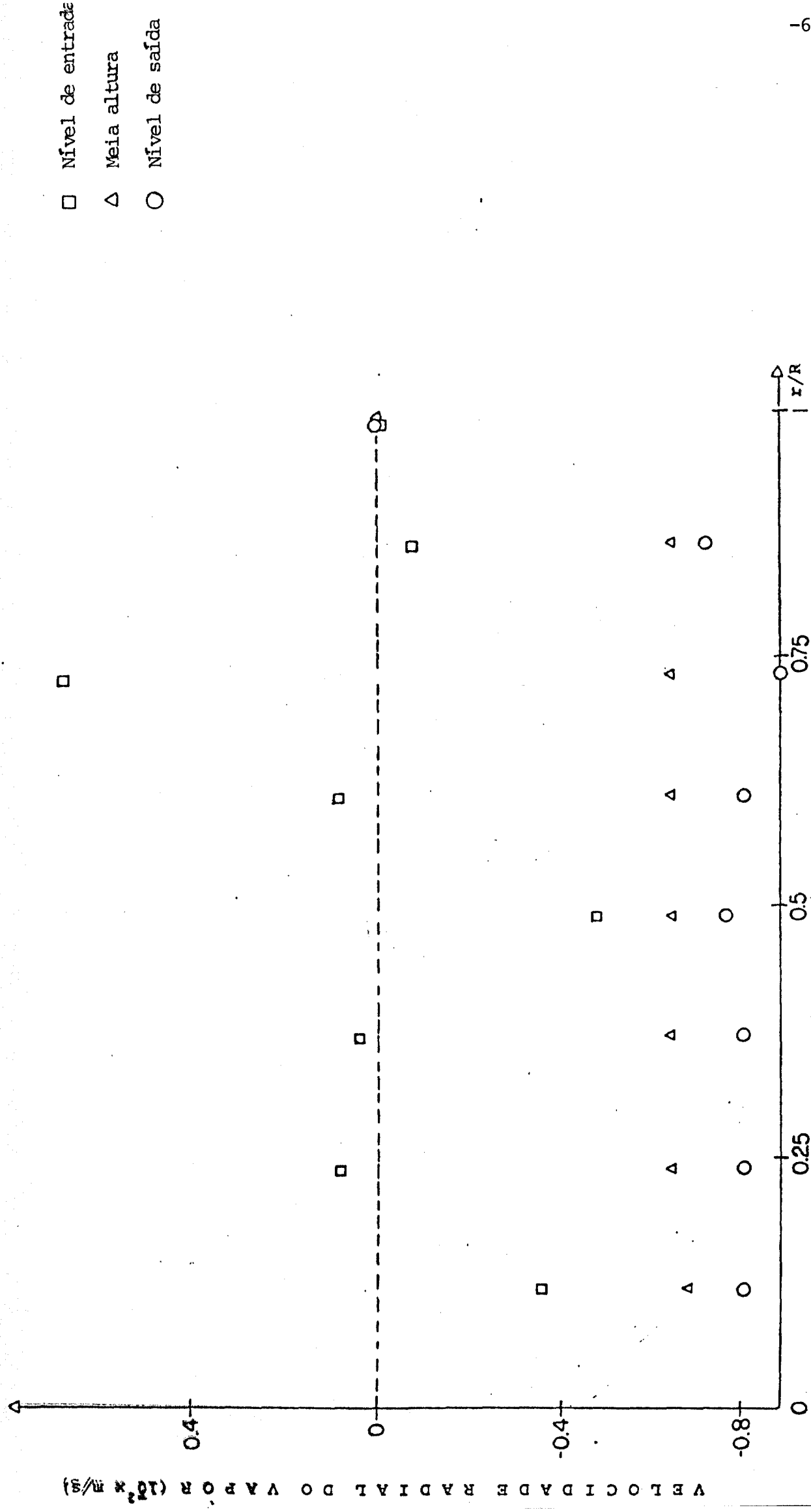


Figura 4.9 - Gráfico da velocidade radial do vapor x raio (caso referência II)

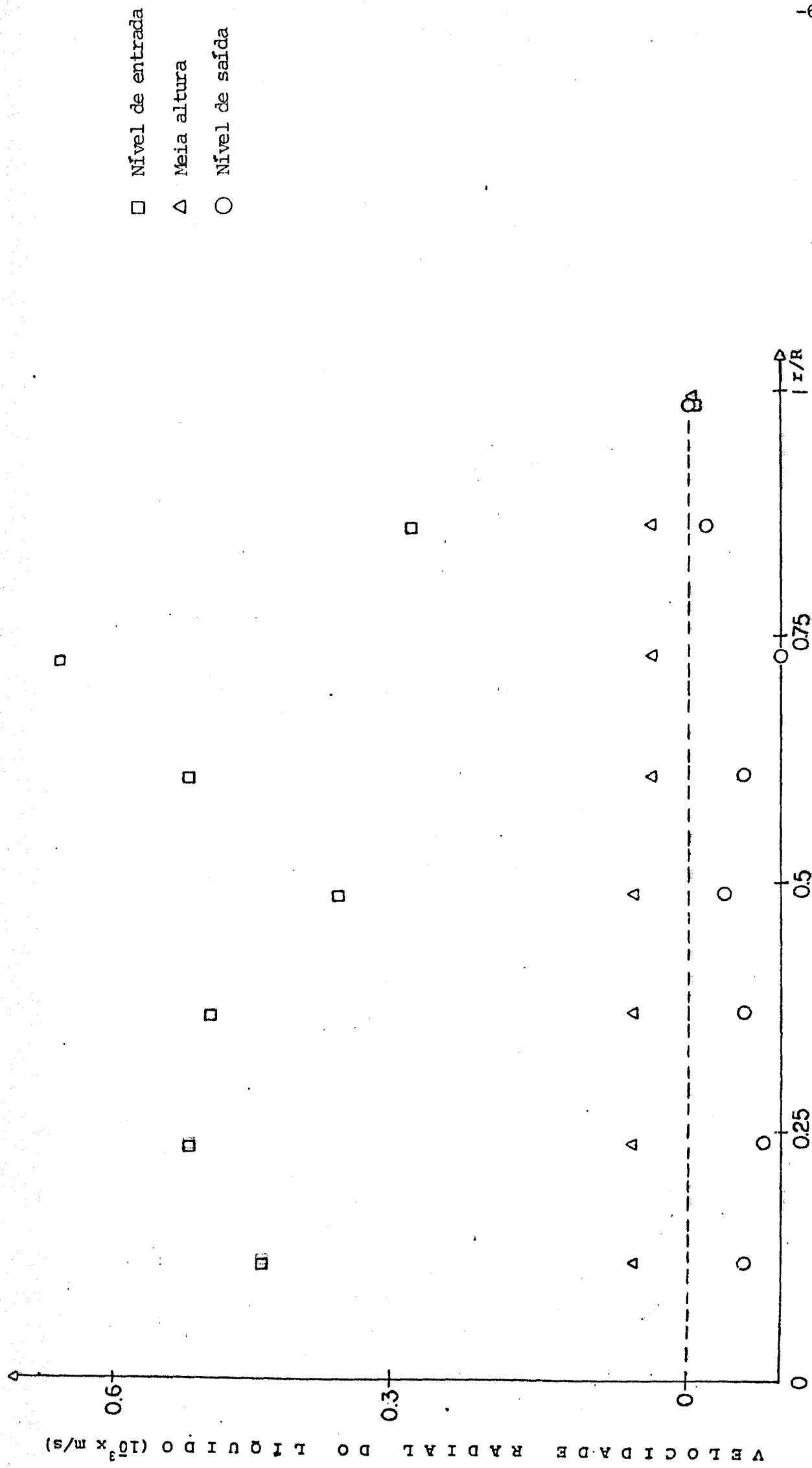


Figura 4.10 - Gráfico da velocidade radial do líquido x raio (caso referência II)

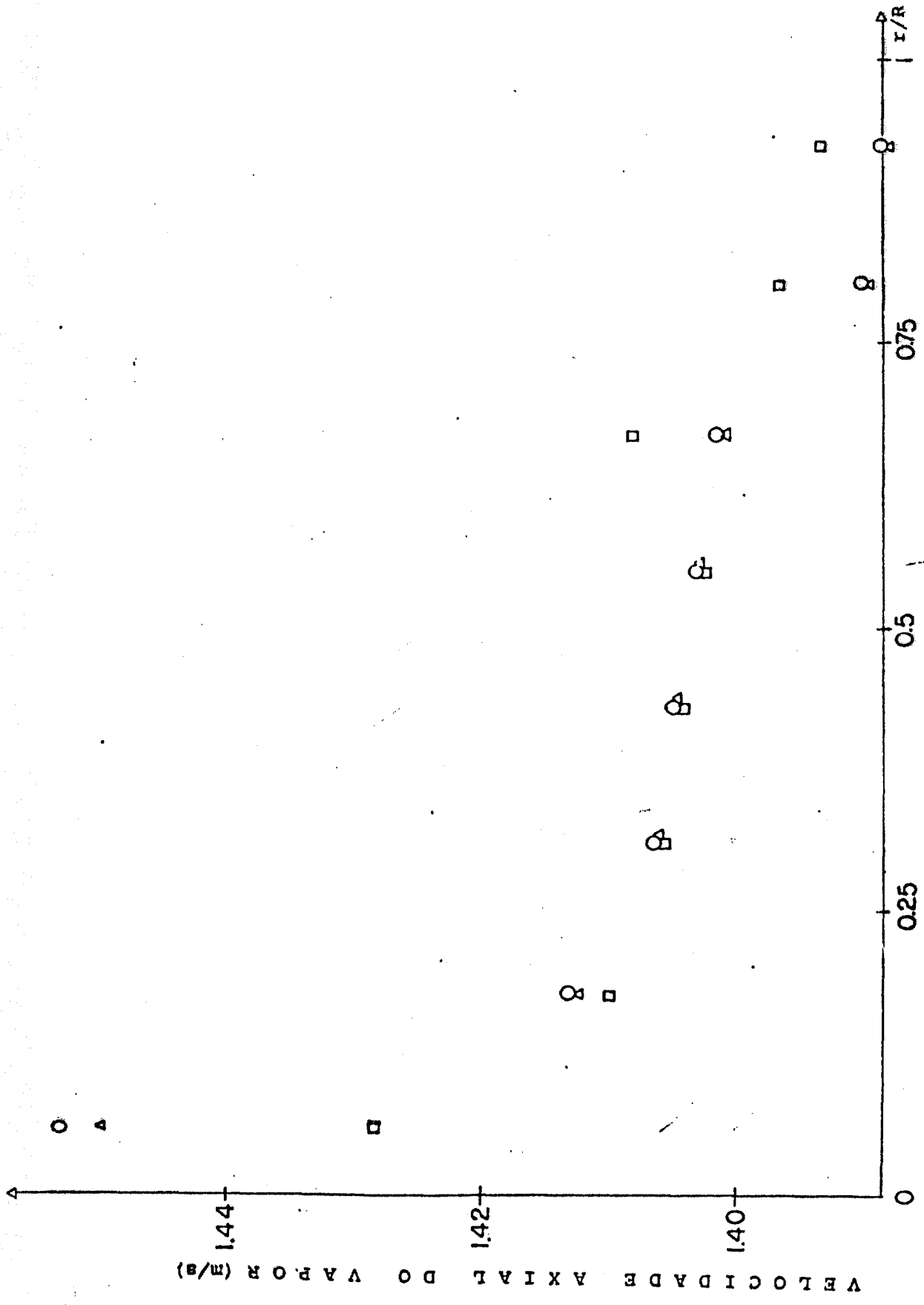


Figura 4.11 - Gráfico da velocidade axial do vapor x raio (caso referência II)

- Nível de entrada
- △ Meia altura
- Nível de saída

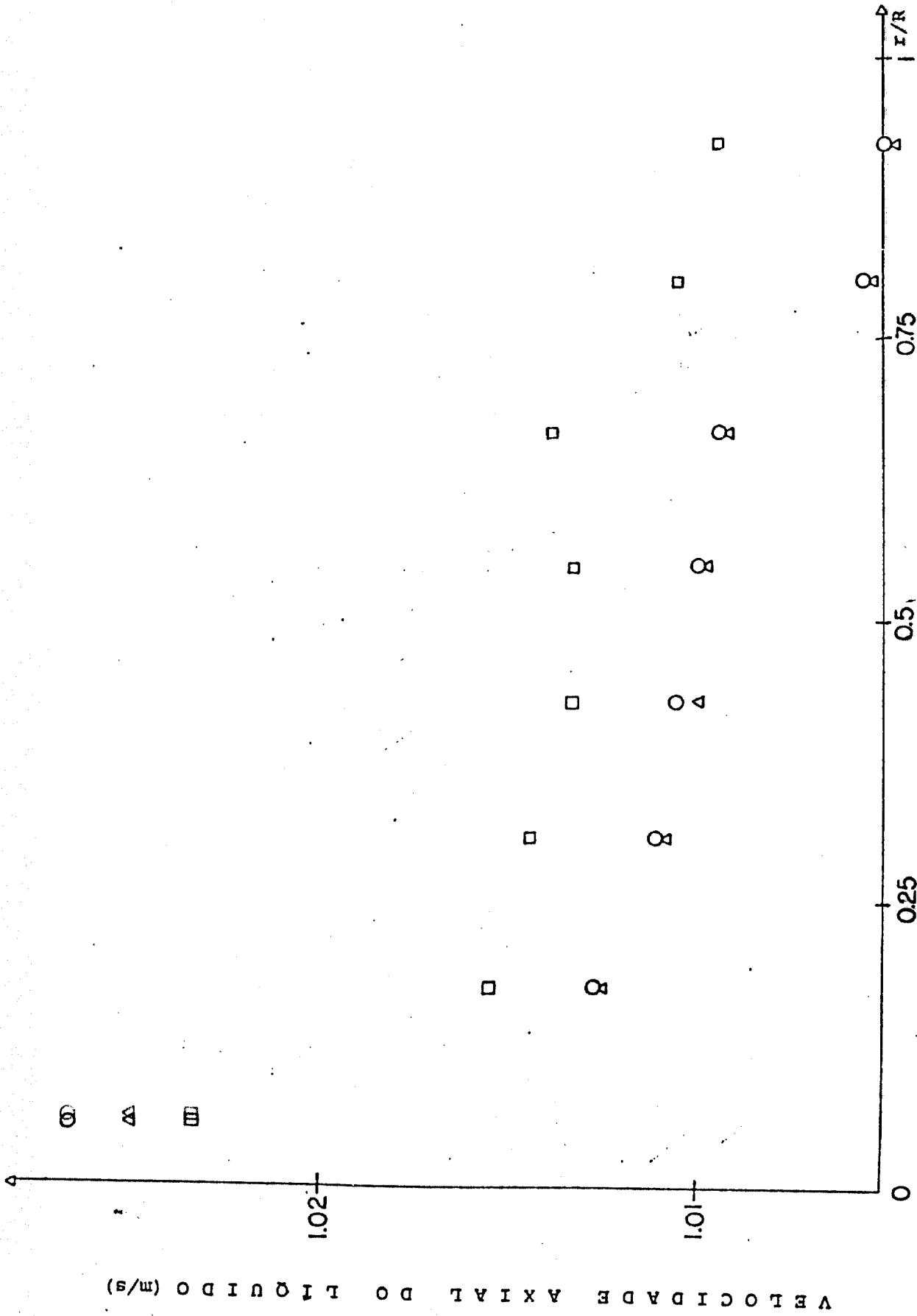


Figura 4.12 - Gráfico da velocidade axial do líquido x raio (caso referência II)

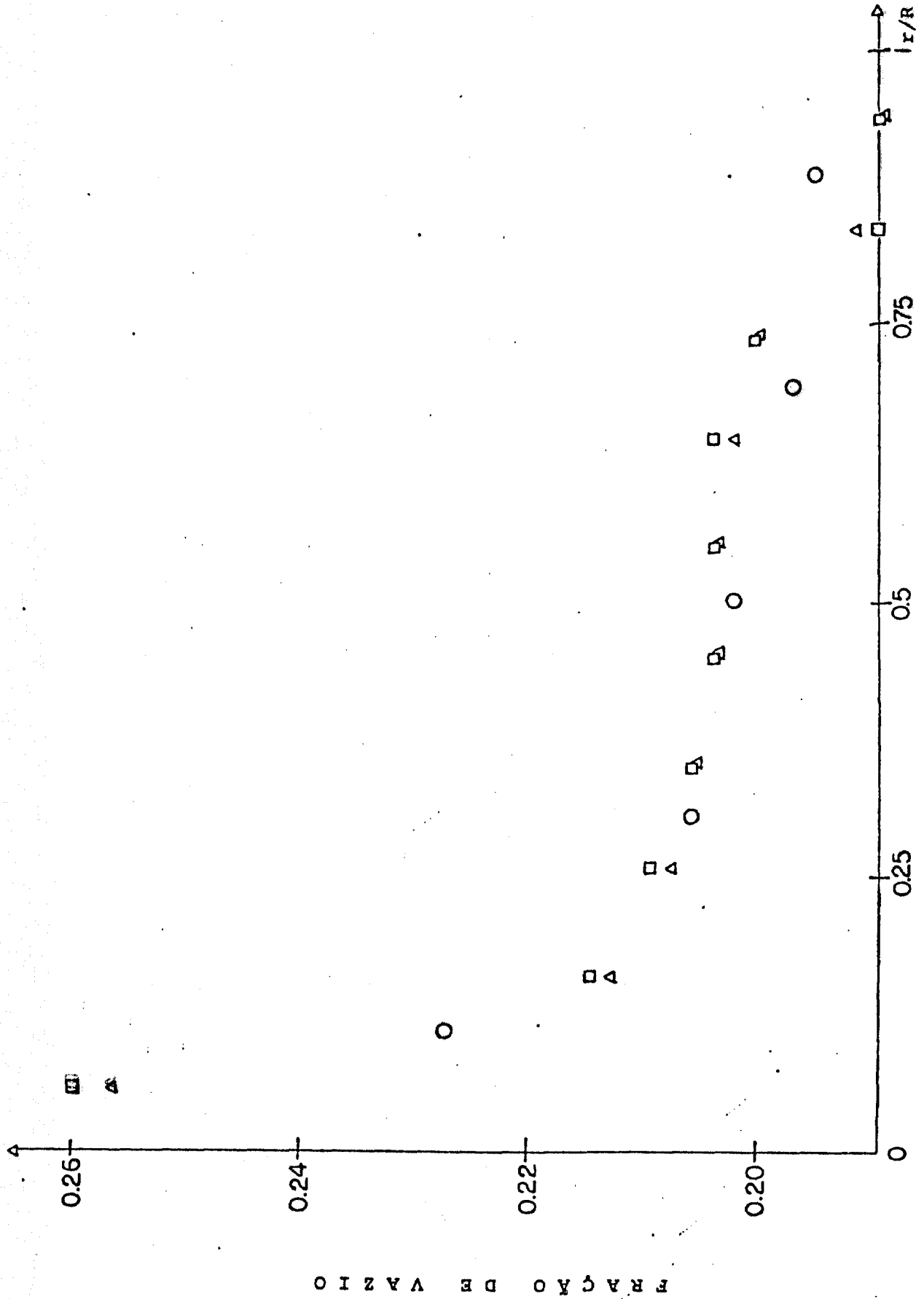


Figura 4.13 - Comparação da fração de vazio na saída do duto para reticulados de 5 x 10, 10 x 10 e 10 x 15 malhas.

- 10 x 15 malhas
- △ 10 x 10 malhas
- 5 x 10 malhas

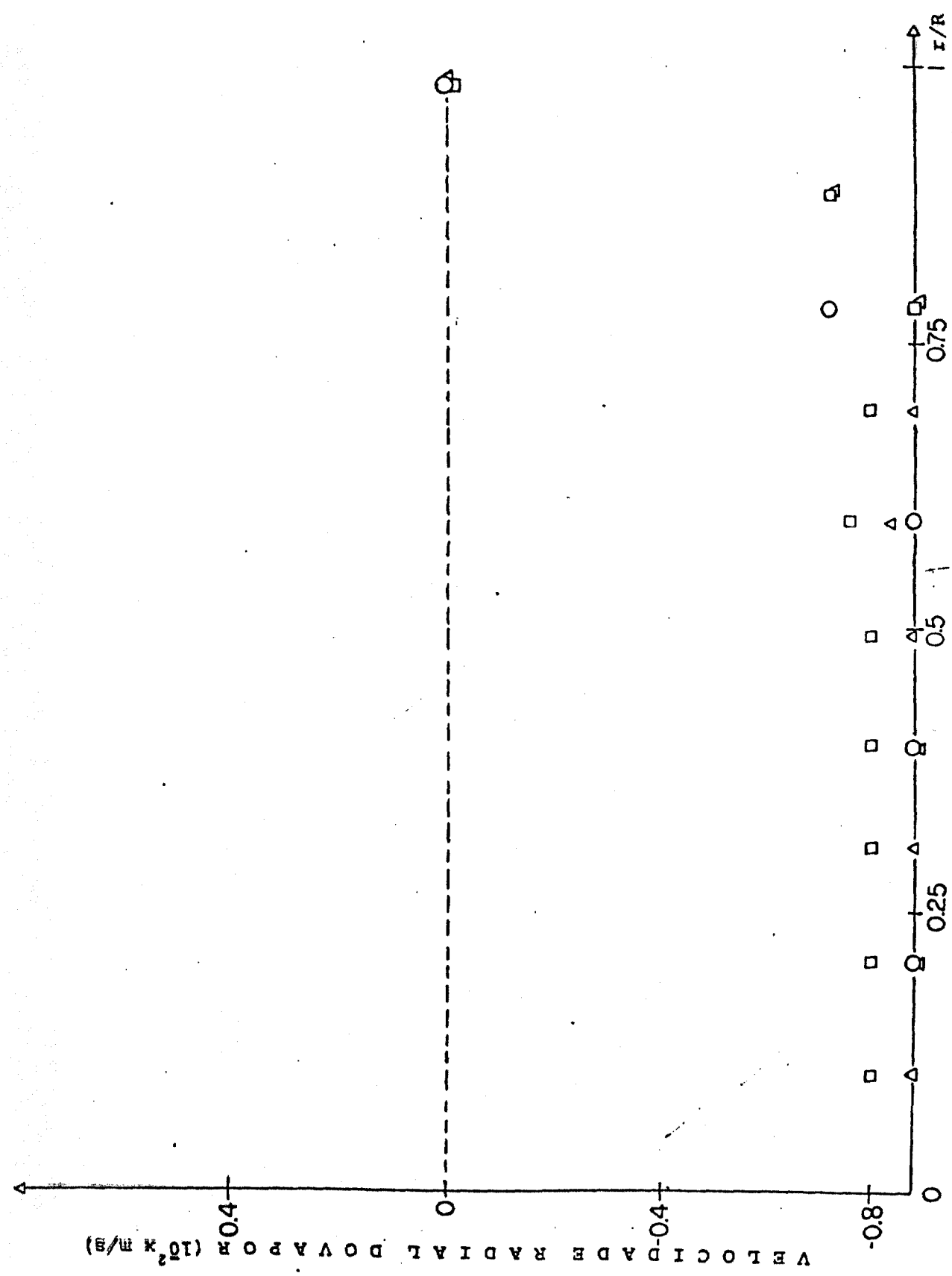


Figura 4.14 - Comparação da velocidade radial do vapor na saída do duto para os reticulados de 5 x 10, 10 x 10 e 10 x 15 malhas

- 10 x 15 malhas
- △ 10 x 10 malhas
- 5 x 10 malhas

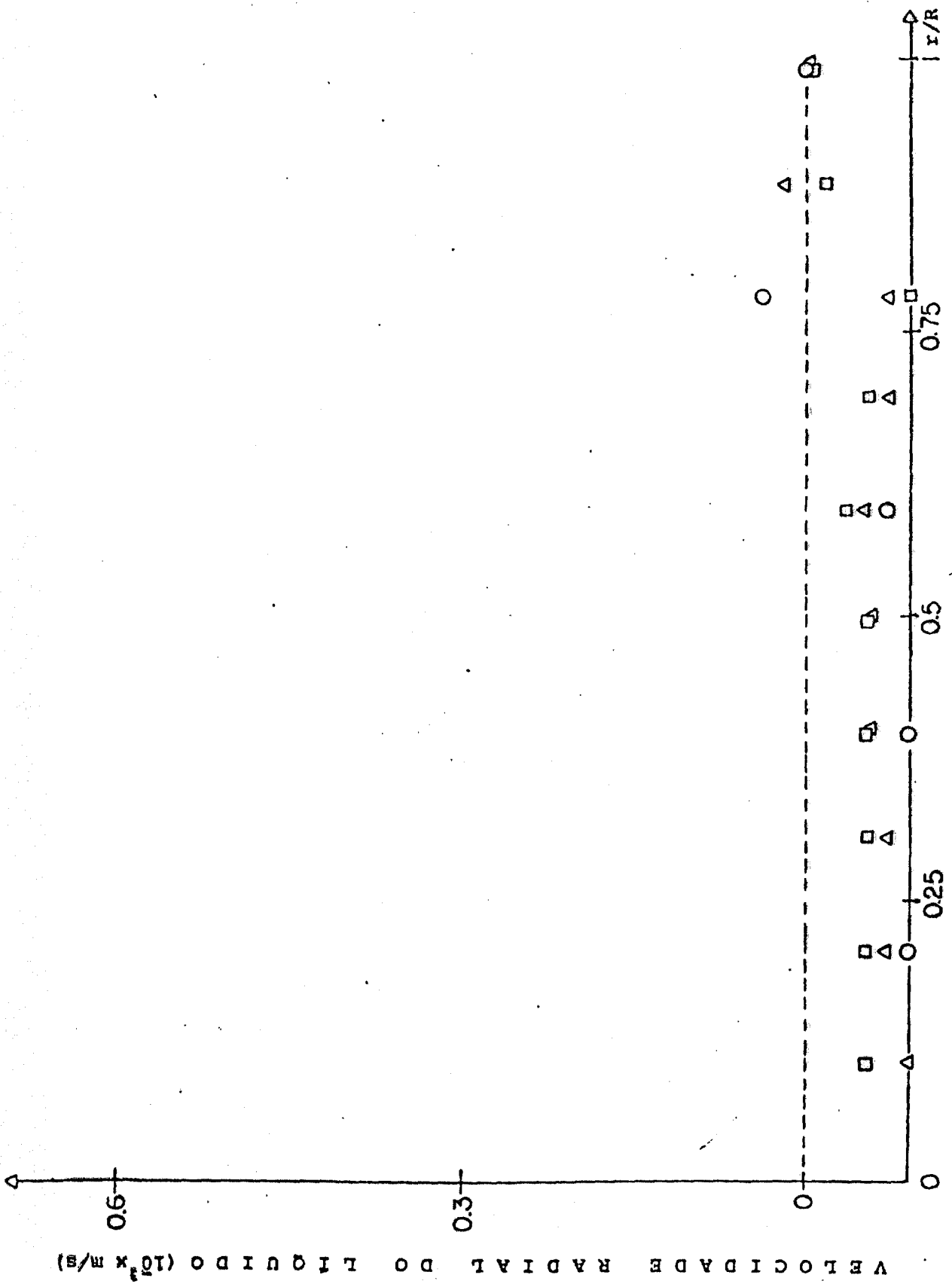


Figura 4.15 - Comparação da velocidade radial do líquido na saída do duto para os reticulados de 5 x 10, 10 x 10 e 10 x 15 malhas

- 10 x 15 malhas
- △ 10 x 10 malhas
- 5 x 10 malhas

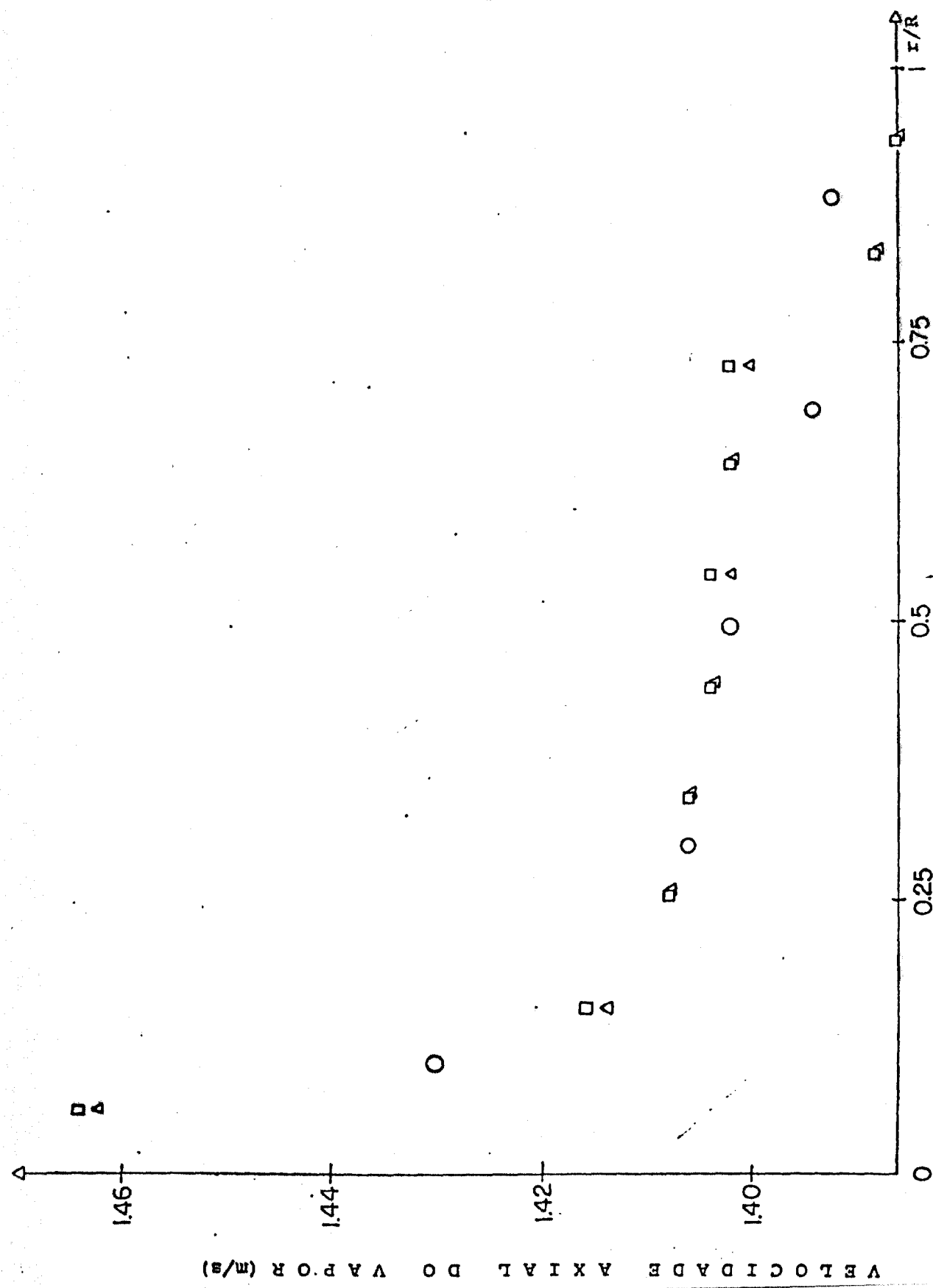
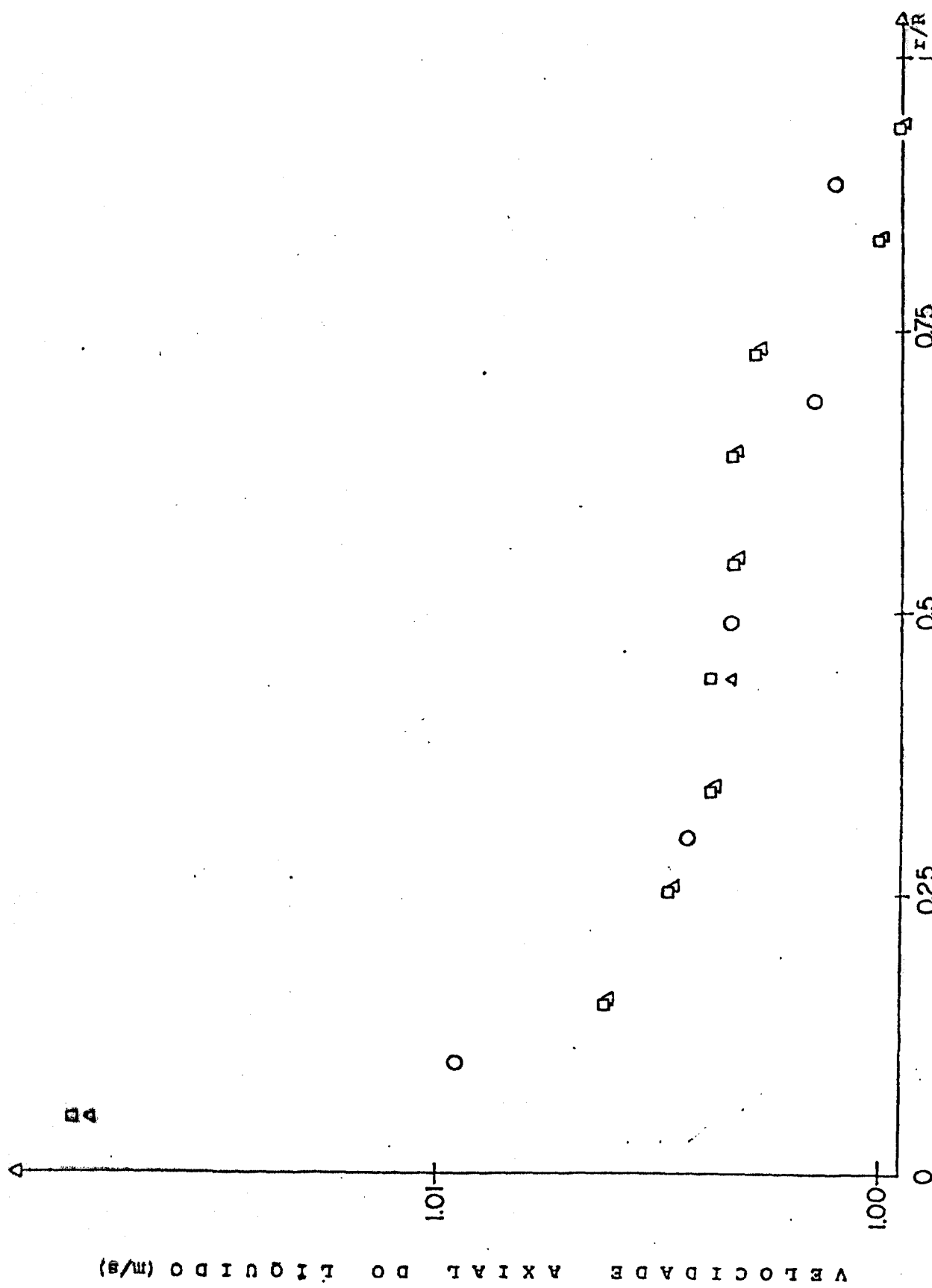


Figura 4.16 - Comparação da velocidade axial do vapor na saída do duto para os reticulados de 5 x 10, 10 x 10 e 10 x 15 malhas



- 10 x 15 malhas
- △ 10 x 10 malhas
- 5 x 10 malhas

Figura 4.17 - Comparação da velocidade axial do líquido na saída do duto para reticulados de 5 x 10, 10 x 10 e 10 x 15 malhas.

4.4 VERIFICAÇÃO DA CONVERGÊNCIA

Este tipo de teste é muito importante, porque indica a dependência do resultado na estimativa inicial, isto é, devido ao fato do método numérico ser semi-implícito no tempo, há necessidade de uma estimativa inicial nos valores de algumas variáveis. Para que o método numérico seja convergente, os resultados finais não podem depender do valor da estimativa inicial.

Para este teste, três casos foram processados. Cada um deles continha um determinado conjunto de estimativas iniciais. Os resultados gerados por eles e mais o do caso referência foram todos comparados. Verificou-se que não havia diferença alguma até a sétima casa decimal após a vírgula.

Conjuntos dos dados de entrada

Caso 1

- Estimativas iniciais

Fração de vazio	0.4
Velocidade radial do vapor	- $4 \cdot 10^{-3}$ m/s
Velocidade radial do líquido	$1 \cdot 10^{-3}$ m/s
Velocidade axial do vapor	4 m/s
Velocidade axial do líquido	1 m/s

Caso 2

- Estimativas iniciais

Fração de vazio	0.4
Velocidade radial do vapor	- $2 \cdot 10^{-3}$ m/s
Velocidade radial do líquido	$5 \cdot 10^{-4}$ m/s
Velocidade axial do vapor	2 m/s
Velocidade axial do líquido	$5 \cdot 10^{-1}$ m/s

Caso 3

- Estimativas iniciais

Fração de vazio	0.2
Velocidade radial do vapor	- $1 \cdot 10^{-3}$ m/s
Velocidade radial do líquido	$4 \cdot 10^{-3}$ m/s
Velocidade axial do vapor	1 m/s
Velocidade axial do líquido	4 m/s

O restante dos dados é igual ao conjunto dos dados de entrada do caso referência.

4.5 ESTABILIDADE DO MÉTODO NUMÉRICO

A estabilidade é um tópico muito importante para o bom desempenho do método numérico, porque ela determina se o resultado é fisicamente aceitável ou se converge para uma solução para si divergente.

A estabilidade do método numérico empregado foi analisada nesta dissertação experimentalmente, isto é, para encontrar se o incremento de tempo e de espaço ótimos, dentro de uma determinada faixa, realizaram-se vários testes com o programa.

O incremento de tempo encontrado satisfaz plenamente a condição de Courant, pois para ambas direções tem-se:

$$\Delta t < \frac{\Delta z}{|v_z|} \quad 10^{-4} < \frac{10^{-1}}{1} \quad (\text{direção axial})$$

$$\Delta t < \frac{\Delta r}{|v_r|} \quad 10^{-4} < \frac{10^{-2}}{10^{-3}} \quad (\text{direção radial})$$

Para maiores esclarecimentos sobre as discretizações temporal e espacial, ver as seções 4.3.1 e 4.3.2.

4.6 VARIAÇÃO NAS CONDIÇÕES DE ENTRADA

Todos os testes realizados até a secção anterior foram feitos utilizando um valor de fração de vazio 0.2.

Devido à sua grande importância esta secção analisará o comportamento do programa para valores de fração de vazio mais altos.

Analisando o primeiro caso processado para um valor de fração de vazio 0.5 e comparando os seus resultados com o do caso referência II da secção 4.3.2, nota-se uma grande semelhança no comportamento das curvas de seus gráficos, porém com uma maior mobilidade do vapor nas direções radial e axial para o escoamento cuja fração de vazio é mais alta. Isto pode ser explicado pelo fato do vapor encontrar menos dificuldade em movimentar-se, devido à sua menor resistência encontrada nos escoamentos cujo valor da fração de vazio é maior, pois nestes casos a interação entre as fases é menor.

As figuras 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 e 4.23 mostram, respectivamente, o comportamento das grandezas pressão, fração de vazio e velocidades radial e axial do vapor e do líquido para o escoamento com fração de vazio 0.5 na entrada do duto.

No segundo caso processado, os resultados não convergiram para um valor de fração de vazio 0.8.

Conjuntos dos dados de entrada

Caso 1

- Condição inicial

Fração de vazio 0.5

- Estimativa inicial

Fração de vazio 0.5

- Condição de contorno

Fração de vazio na entrada 0.5

Caso 2

- Condição inicial

Fração de vazio 0.8

- Estimativa inicial

Fração de vazio 0.8

- Condição de contorno

Fração de vazio na entrada 0.8

O restante dos dados é igual ao conjunto dos dados de entrada do caso referência.

PRESSÃO RELATIVA A ENTRADA (N/m²)

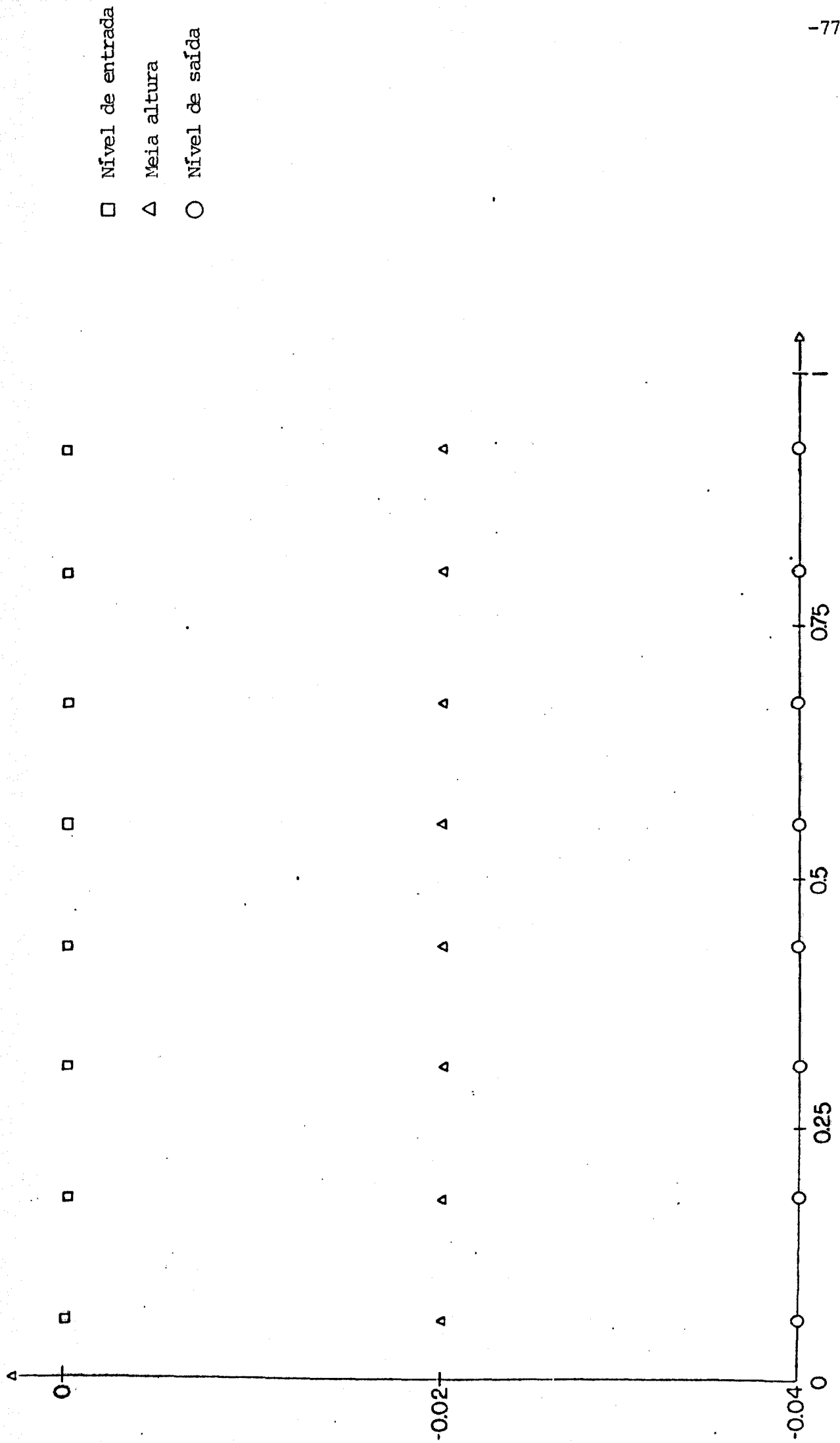
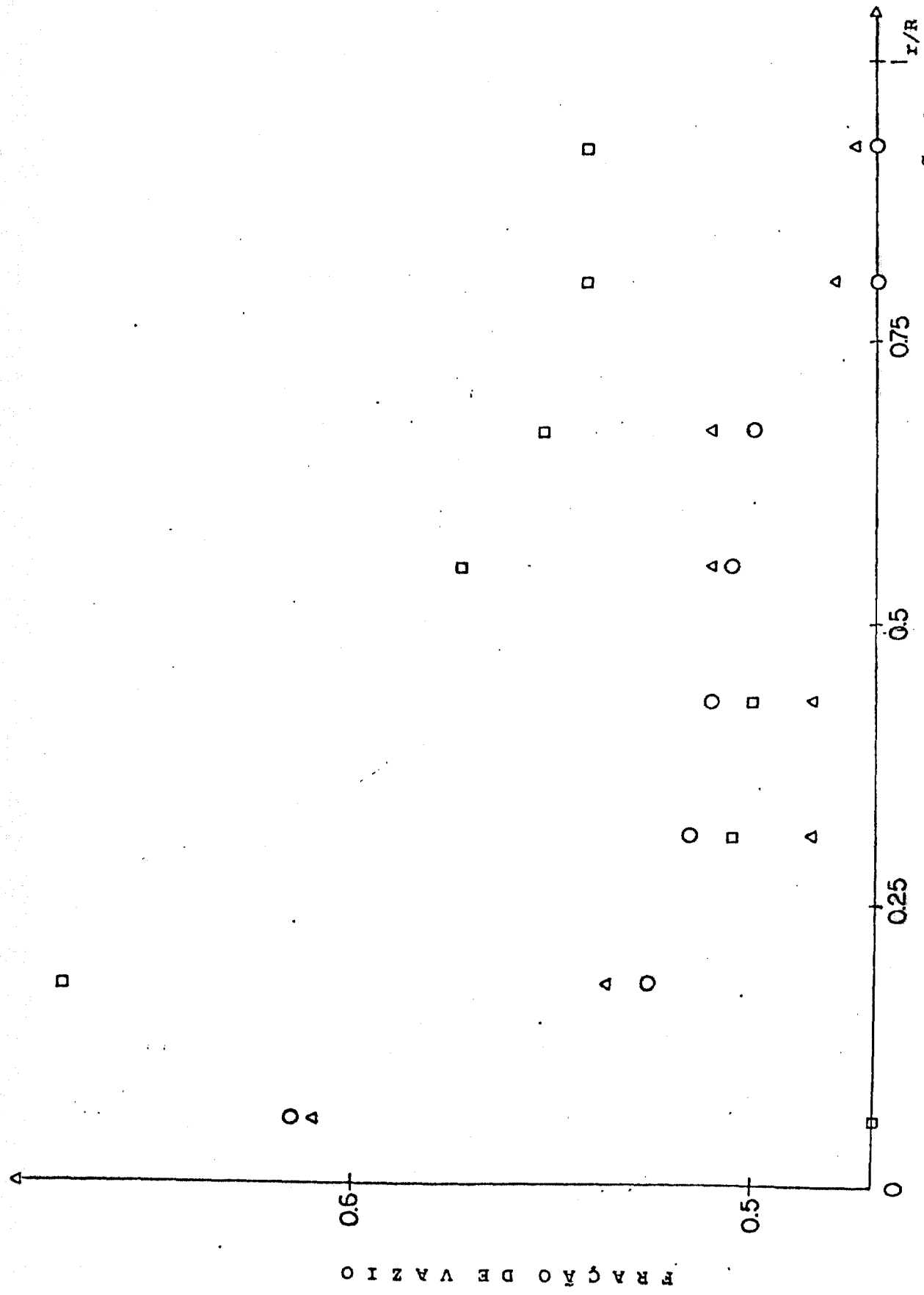


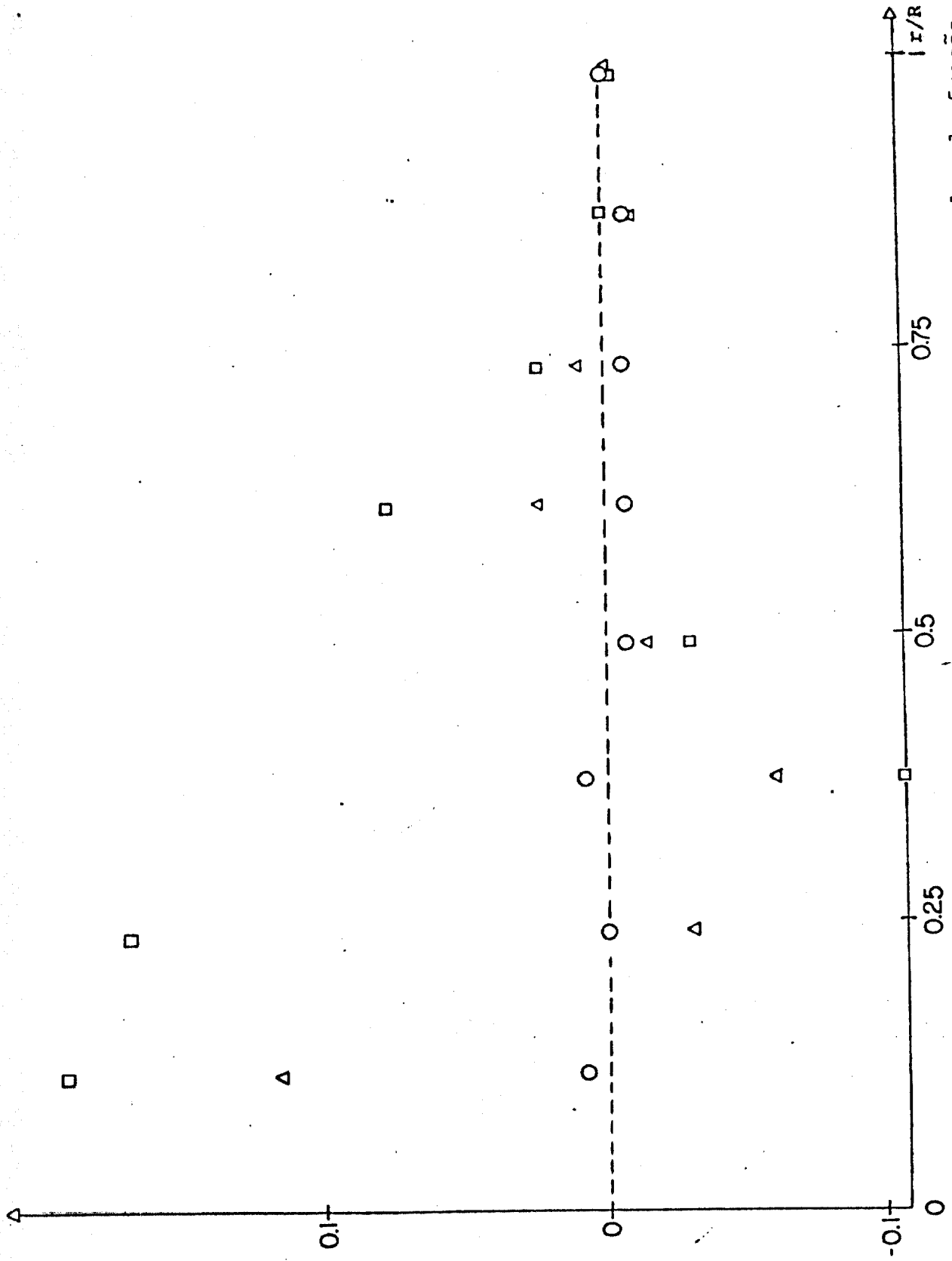
Figura 4.18 - Gráfico da pressão x raio para um valor da fração de vazão 0,5 na entrada do duto.



- Nível de entrada
- △ Meia altura
- Nível de saída

Figura 4.19 - Gráfico da fração de vazio x raio para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada do duto.

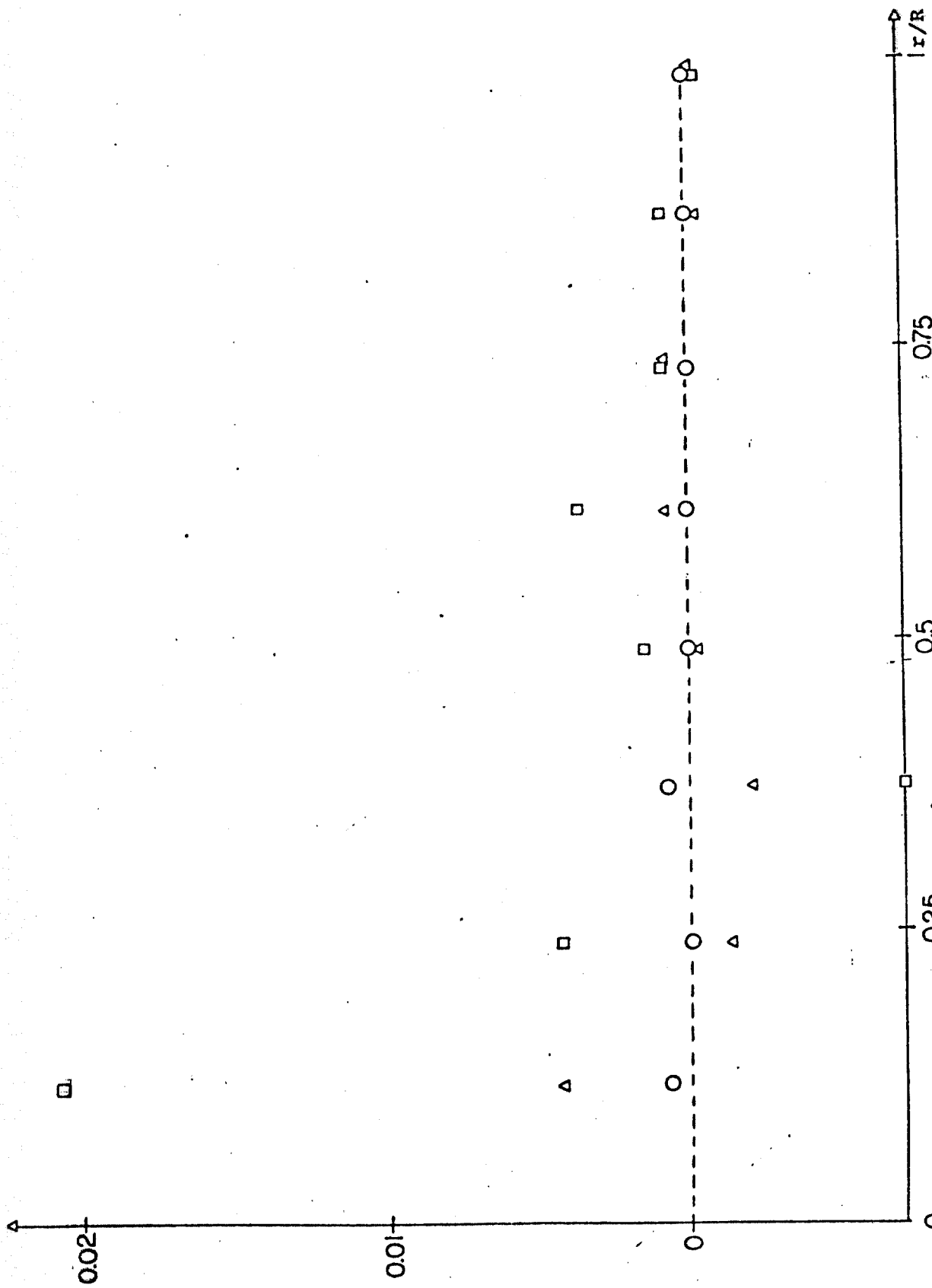
VELOCIDADE RADIAL DO VAPOR (m/s)



- Nível de entrada
- Δ Meia altura
- Nível de saída

Figura 4.20 - Gráfico da velocidade radial do vapor x raio para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada do duto.

VELOCIDADE RADIAL DO LÍQUIDO (m/s)



- Nível de entrada
- △ Meia altura
- Nível de saída

Figura 4.21 - Gráfico da velocidade radial do líquido x raio para um valor da fração de vazão de 0.5 na entrada do duto.

VELOCIDADE AXIAL DO VAPOR (M/S)

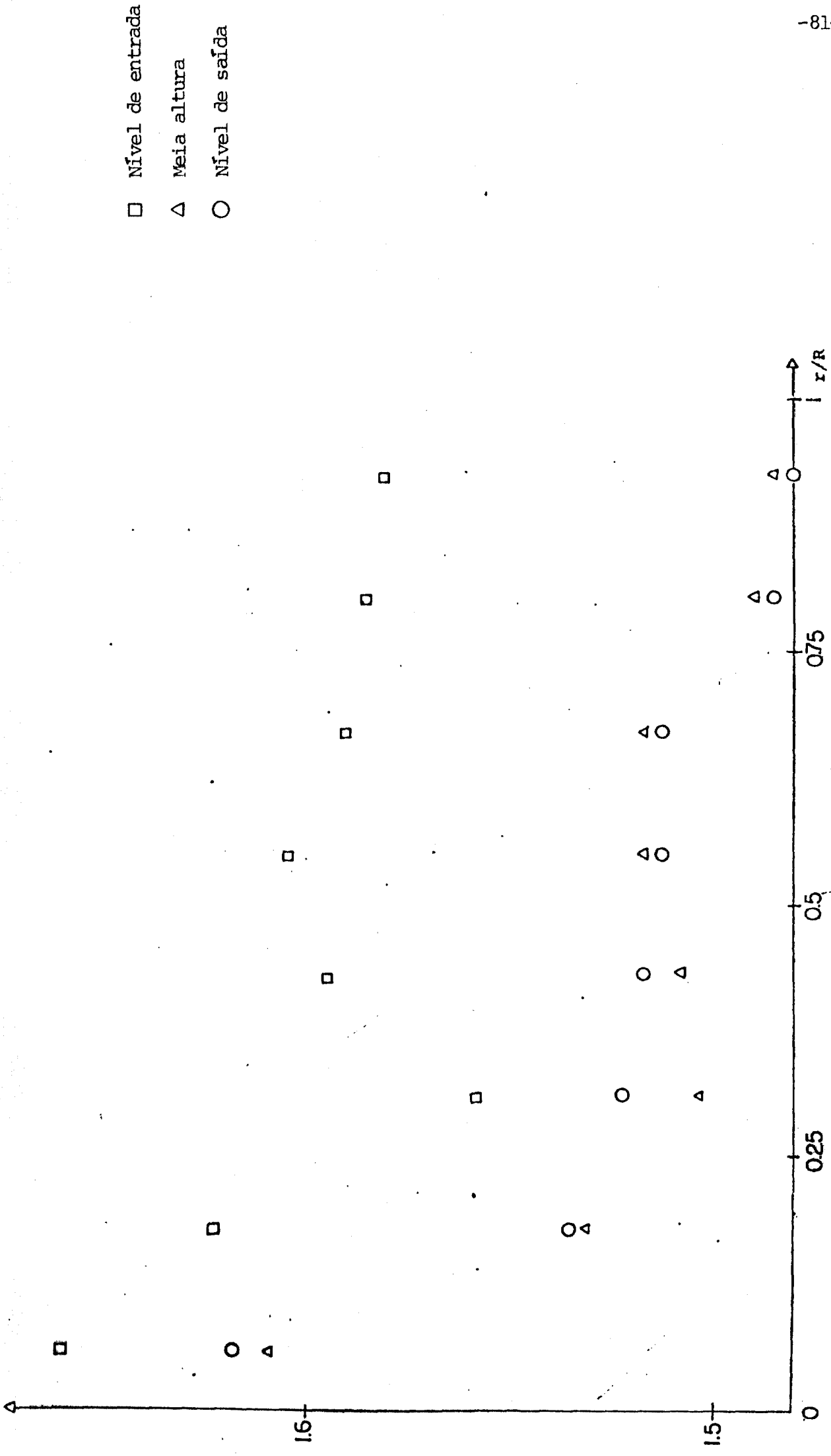
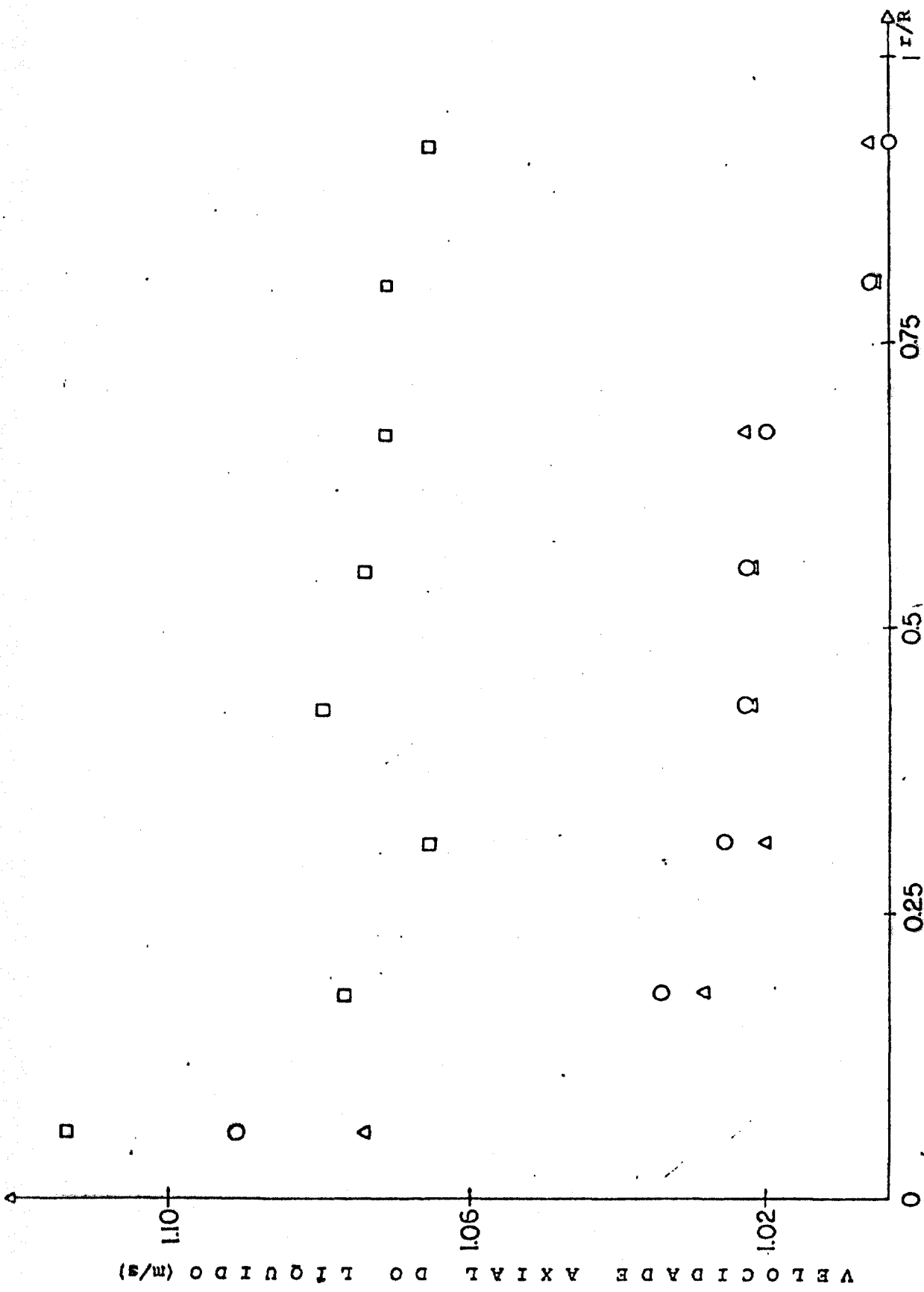


Figura 4.22 - Gráfico da velocidade axial do vapor x raio para um valor da fração de vazão 0.5 na entrada do duto.



□ Nível de entrada
 △ Meia altura
 ○ Nível de saída

Figura 4.23 - Gráfico da velocidade axial do líquido x raio para um valor da fração de vazão 0.5 na entrada do duto.

4.7 VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ARRASTO DE INTERFACE

Na secção anterior foram processados dois casos para ve rificação do comportamento do programa, utilizando-se valores mê dios e altos de fração de vazio na entrada do duto.

Devido a não convergência dos resultados do caso que utilizou valores altos de fração de vazio, esta secção faz uma anã lise da influência do coeficiente de arrasto de interface no com portamento fenomenológico das grandezas envolvidas no escoamento.

Para fazer este tipo de análise, foram processados cin co casos. Cada caso verificou a influência do coeficiente de arras to de interface para um determinado valor da fração de vazio na en trada do duto.

Foram testados para C_D os valores de 10^{-3} ; $5 \cdot 10^{-2}$, 10^{-3} e 10^{-3} , 10^{-4} , respectivamente, para frações de vazio de 0.2, 0.5 e 0.8.

Nos três primeiros casos, verificou-se que no escoamen to com menor valor de C_D houve um maior acúmulo de vapor na parte central do duto, devido à maior mobilidade deste nas direções ra dial e axial. A velocidade axial do vapor praticamente dobrou de valor. As velocidades radiais também aumentaram e a velocidade axial do líquido diminuiu.

As figuras 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 e 4.28 mostram alguns gráficos obtidos no processamento dos três primeiros casos.

Nos dois últimos casos processados, verificou-se que os resultados só convergiram para um C_D de valor 10^{-4} , porém, os re sultados obtidos mostraram uma certa diferença no comportamento das curvas dos gráficos em relação aos casos com fração de vazio mais baixa.

Pode-se notar nas figuras 4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 e 4.34 que a velocidade axial do vapor praticamente quadruplicou de valor e que o comportamento da fração de vazio ficou bastante di ferente dos casos já estudados.

Conjuntos dos dados de entrada

Caso 1

- Parâmetros físicos

Coefficiente de arrasto de interface 10^{-3}

- Condições iniciais

Fração de vazio 0.2

- Estimativas iniciais

Fração de vazio 0.2

- Condições de contorno

Fração de vazio na entrada 0.2

Caso 2

- Parâmetros físicos

Coefficiente de arrasto de interface 5.10^{-2}

- Condições iniciais

Fração de vazio 0.5

- Estimativas iniciais

Fração de vazio 0.5

- Condições de contorno

Fração de vazio na entrada 0.5

Caso 3

- Parâmetros físicos

Coeficiente de arrasto de interface 10^{-3}

- Condições iniciais

Fração de vazio 0.5

- Estimativas iniciais

Fração de vazio 0.5

- Condições de contorno

Fração de vazio na entrada 0.5

Caso 4

- Parâmetros físicos

Coeficiente de arrasto de interface 10^{-3}

- Condições iniciais

Fração de vazio 0.8

- Estimativas iniciais

Fração de vazio 0.8

- Condições de contorno

Fração de vazio na entrada 0.8

Caso 5

- Parâmetros físicos

Coeficiente de arrasto de interface 10^{-4}

- Condições iniciais

Fração de vazio 0.8

- Estimativas iniciais

Fração de vazio 0.8

- Condições de contorno

Fração de vazio na entrada 0.8

O restante dos dados de entrada é igual ao conjunto dos da
dos de entrada do caso referência.

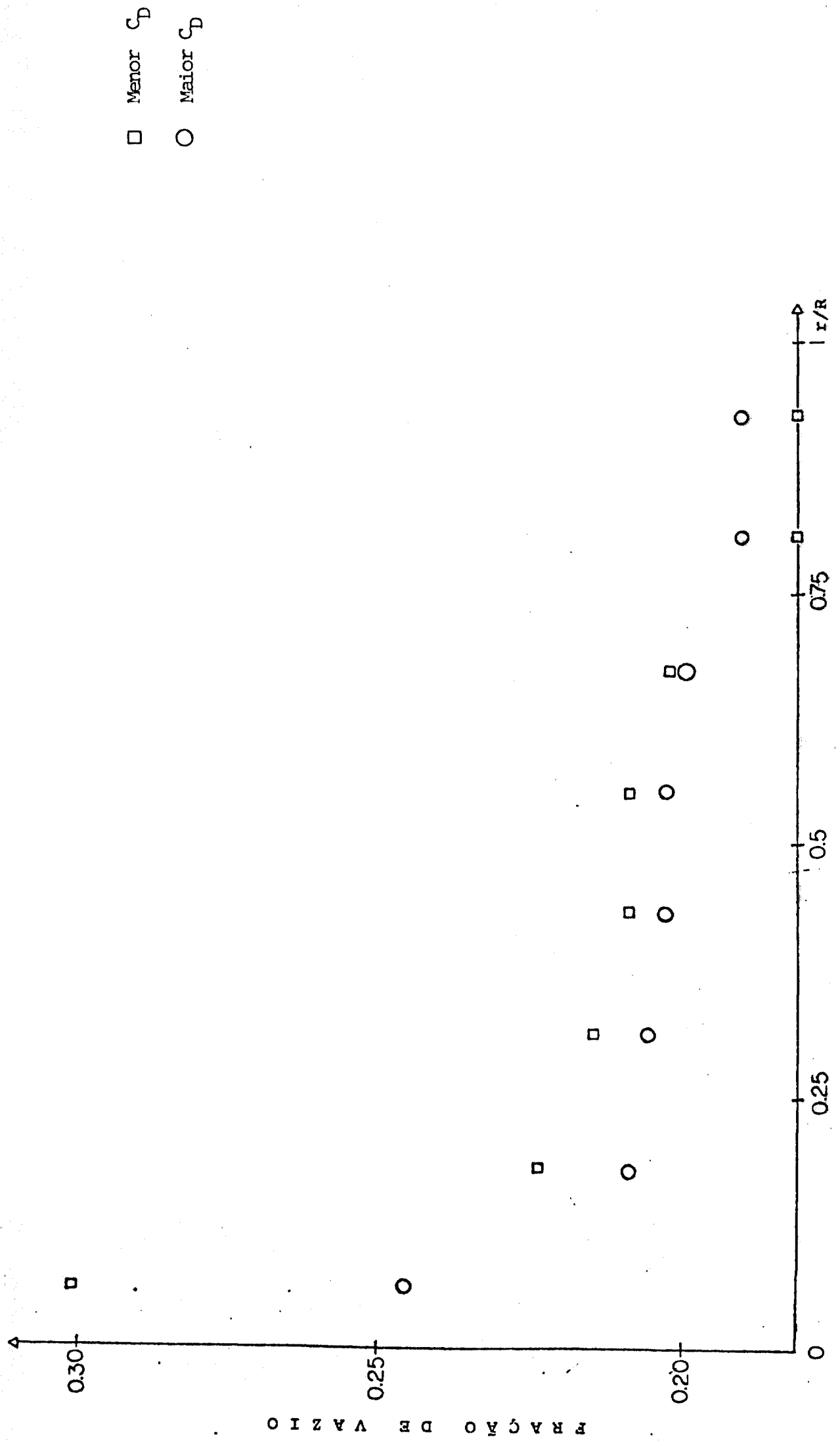


Figura 4.24 - Comparação da fração de vazio na saída do duto entre dois escoamentos com CD 10^{-2} e 10^{-3} para um valor da fração de vazio 0.2 na entrada

VELOCIDADE RADIAL DO VAPOR (m/s)

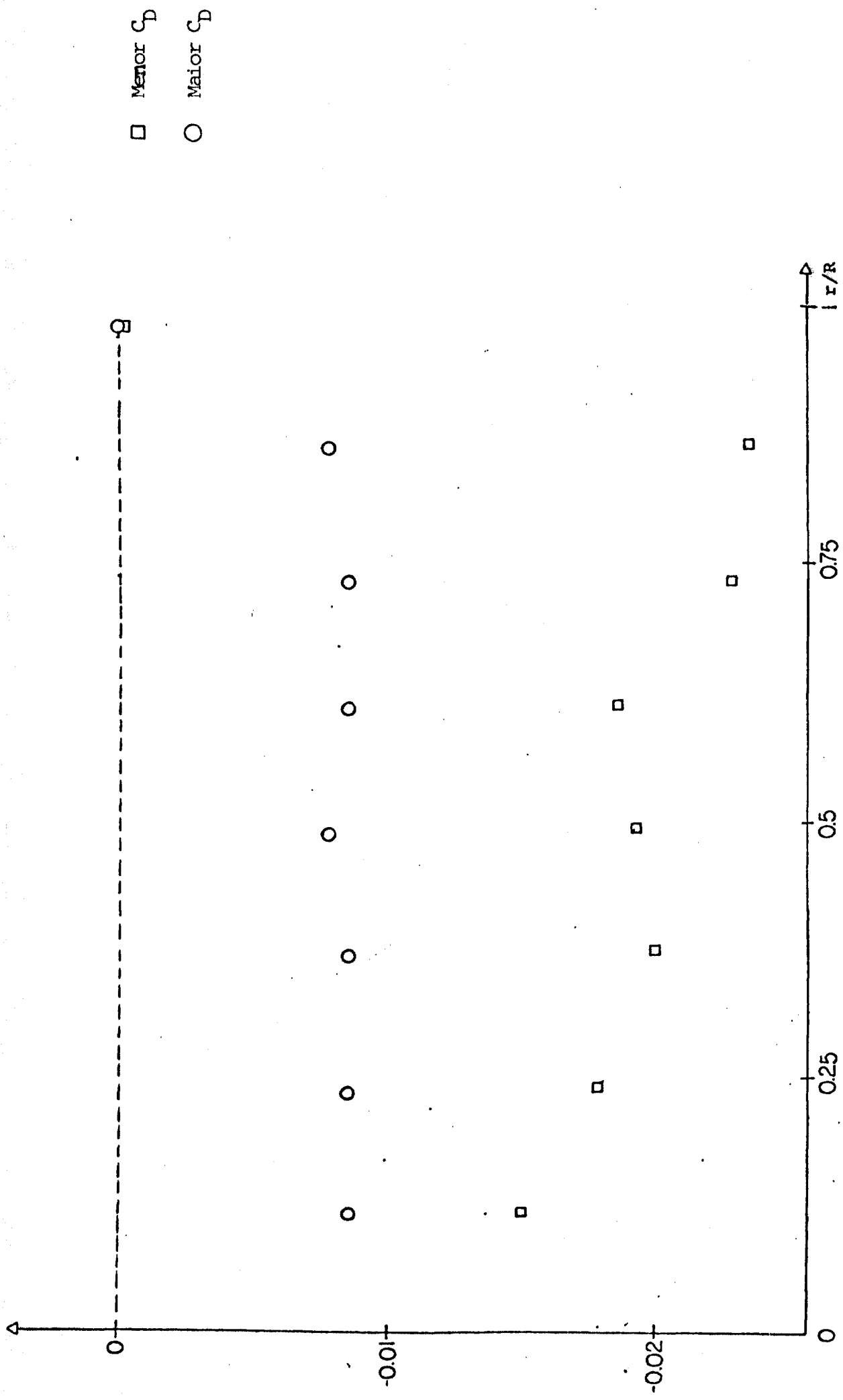


Figura 4.25 - Comparação da velocidade radial do vapor na saída do duto entre dois escoamentos com C_D 10^{-2} e 10^{-3} para um valor da fração de vazio 0.2

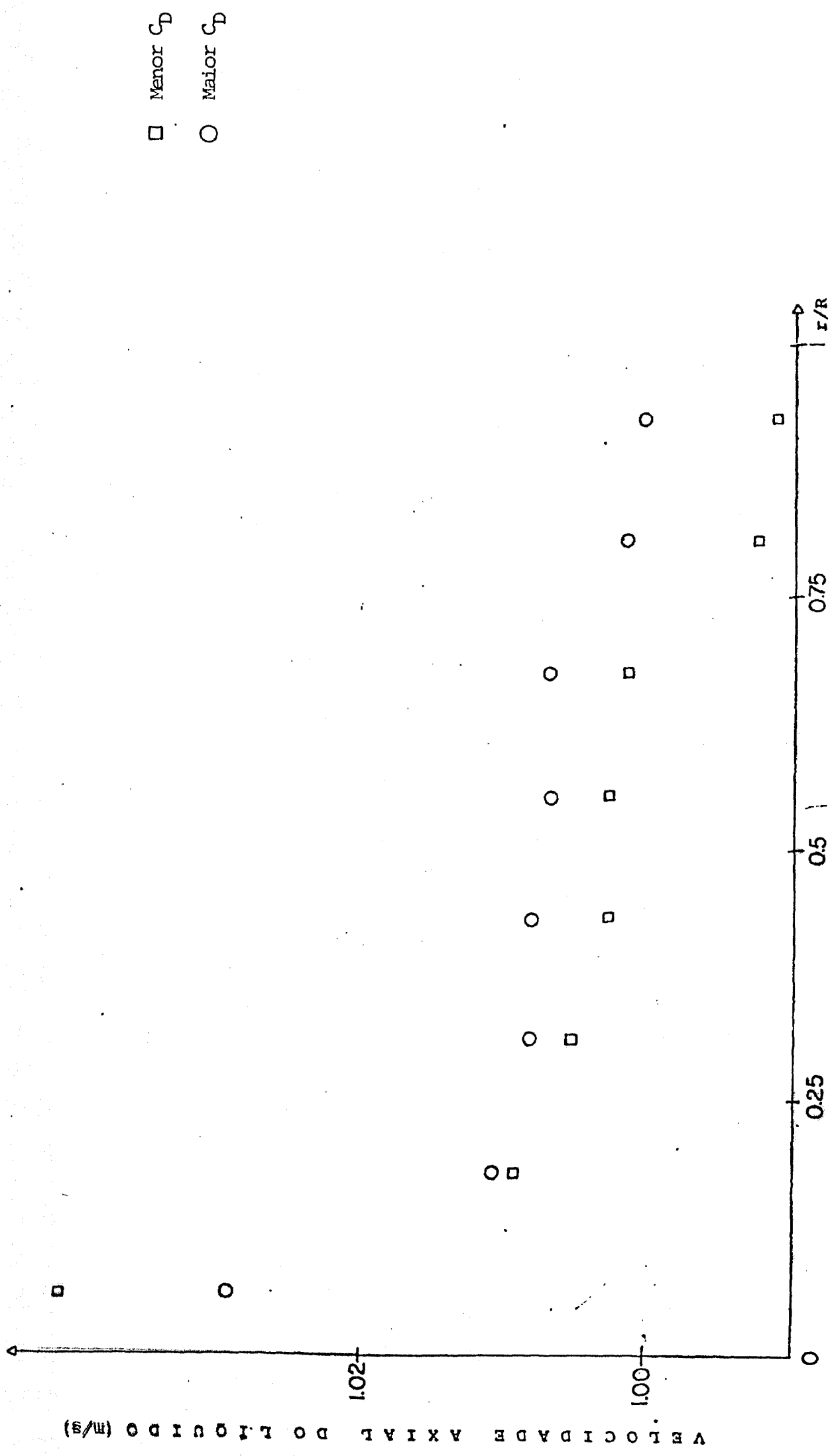


Figura 4.26 - Comparação da velocidade axial do líquido na saída do duto entre dois escoamentos com C_D 10^{-2} e 10^{-3} para um valor da fração de vazio 0.2 na entrada

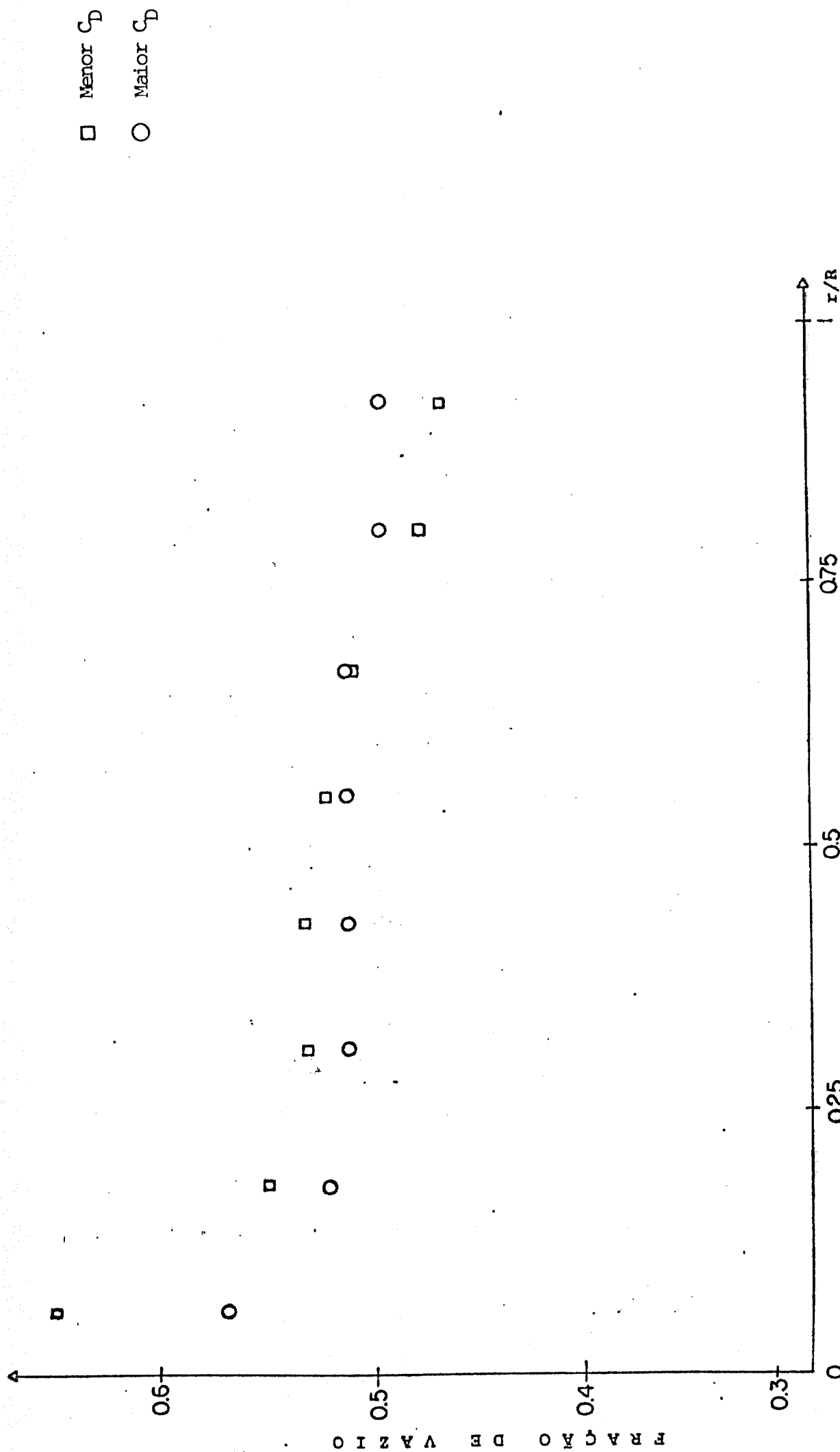


Figura 4.27 - Comparação da fração de vazio na saída do duto entre dois escoamentos com C_D 5.10⁻² e 10⁻³ para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada

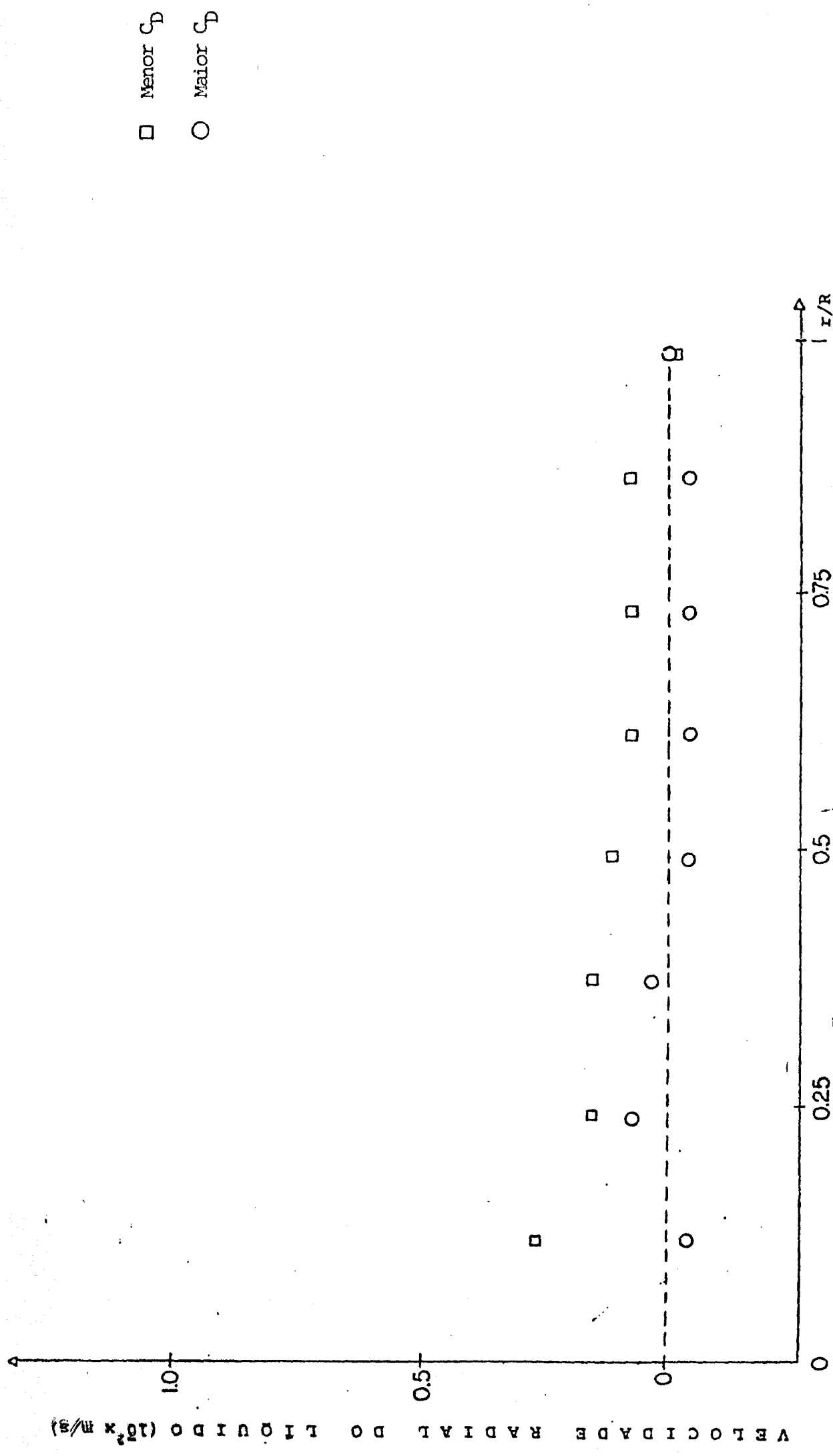


Figura 4.28 - Comparação da velocidade radial do líquido na saída do duto entre dois escoamentos com $C_D \cdot 5 \cdot 10^{-2}$ e 10^{-3} para um valor da fração de vazio 0.5 na entrada.

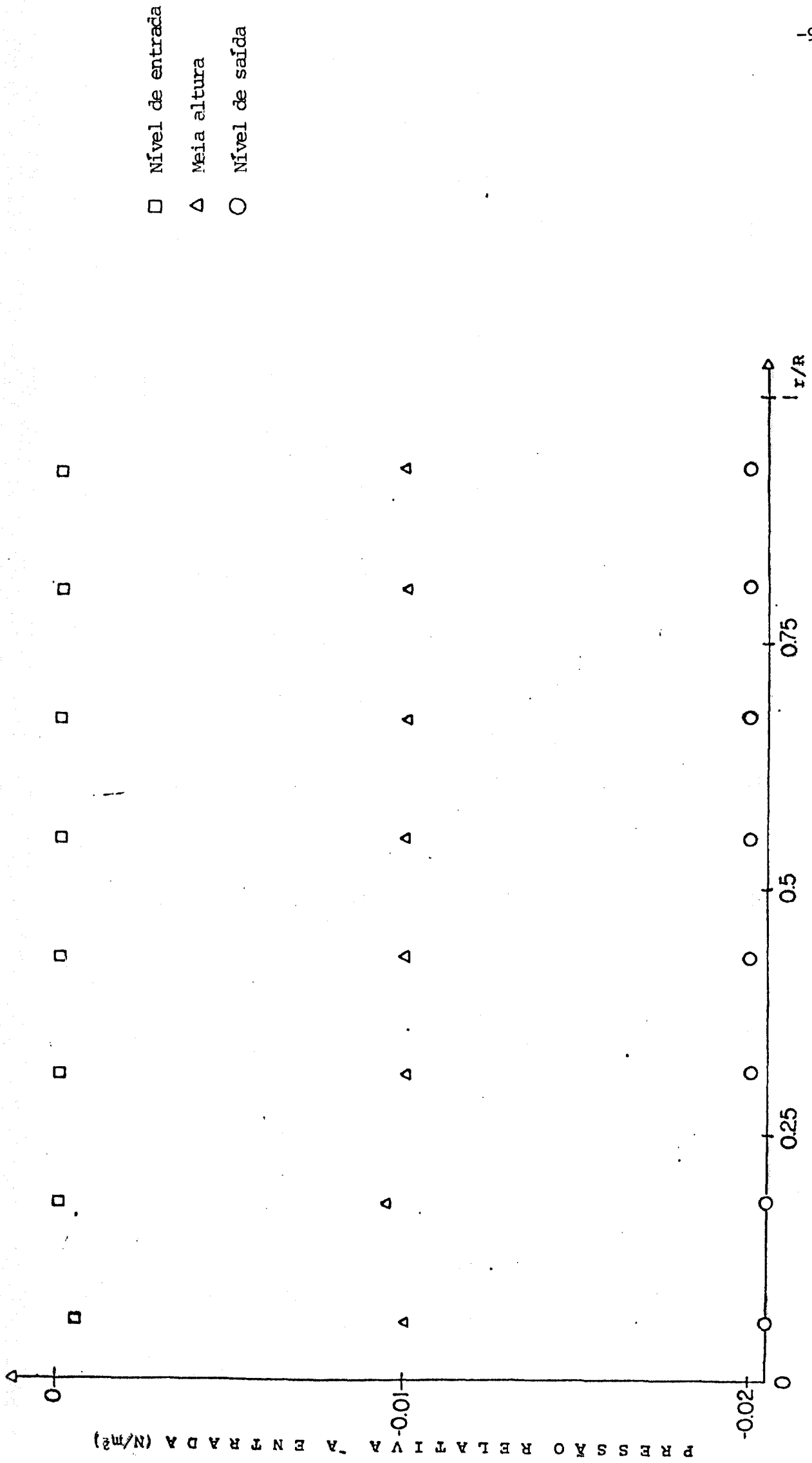


Figura 4,29 - Gráfico da pressão x raio para uma fração de vazão de 0.8 na entrada do duto.

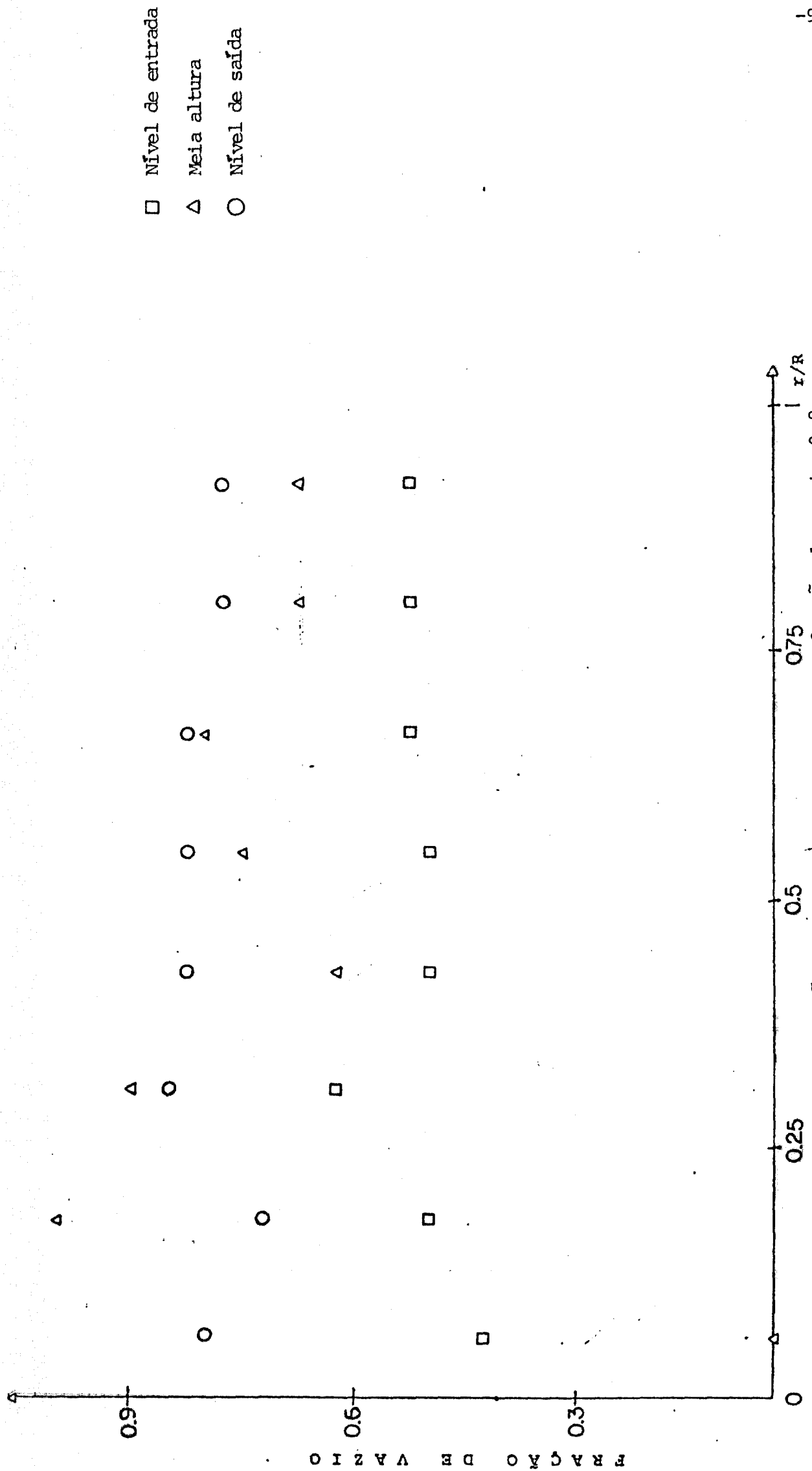
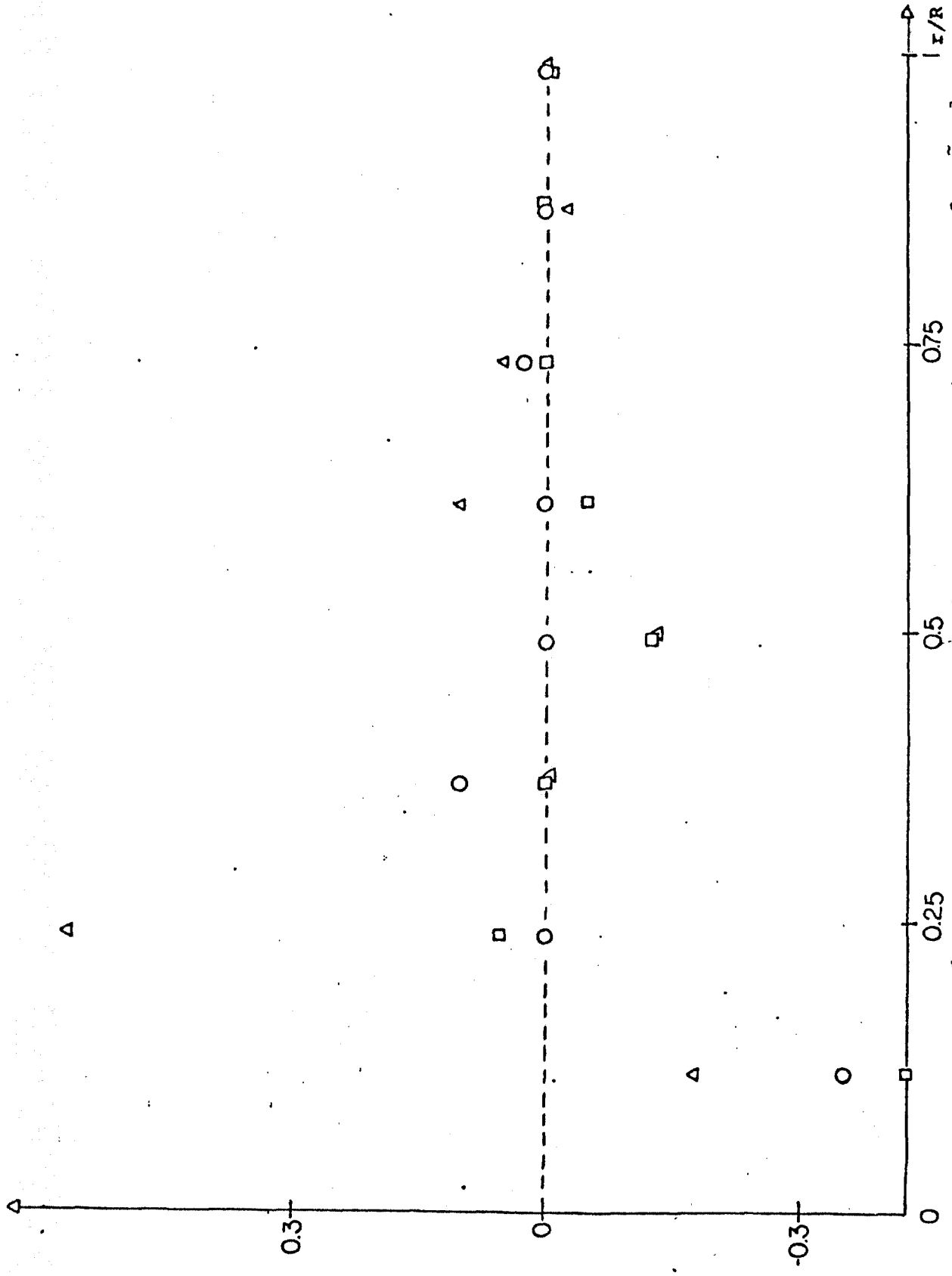


Figura 4.30 - Gráfico da fração de vazio de vazios x raio para uma fração de vazio 0.8 na entrada do duto.

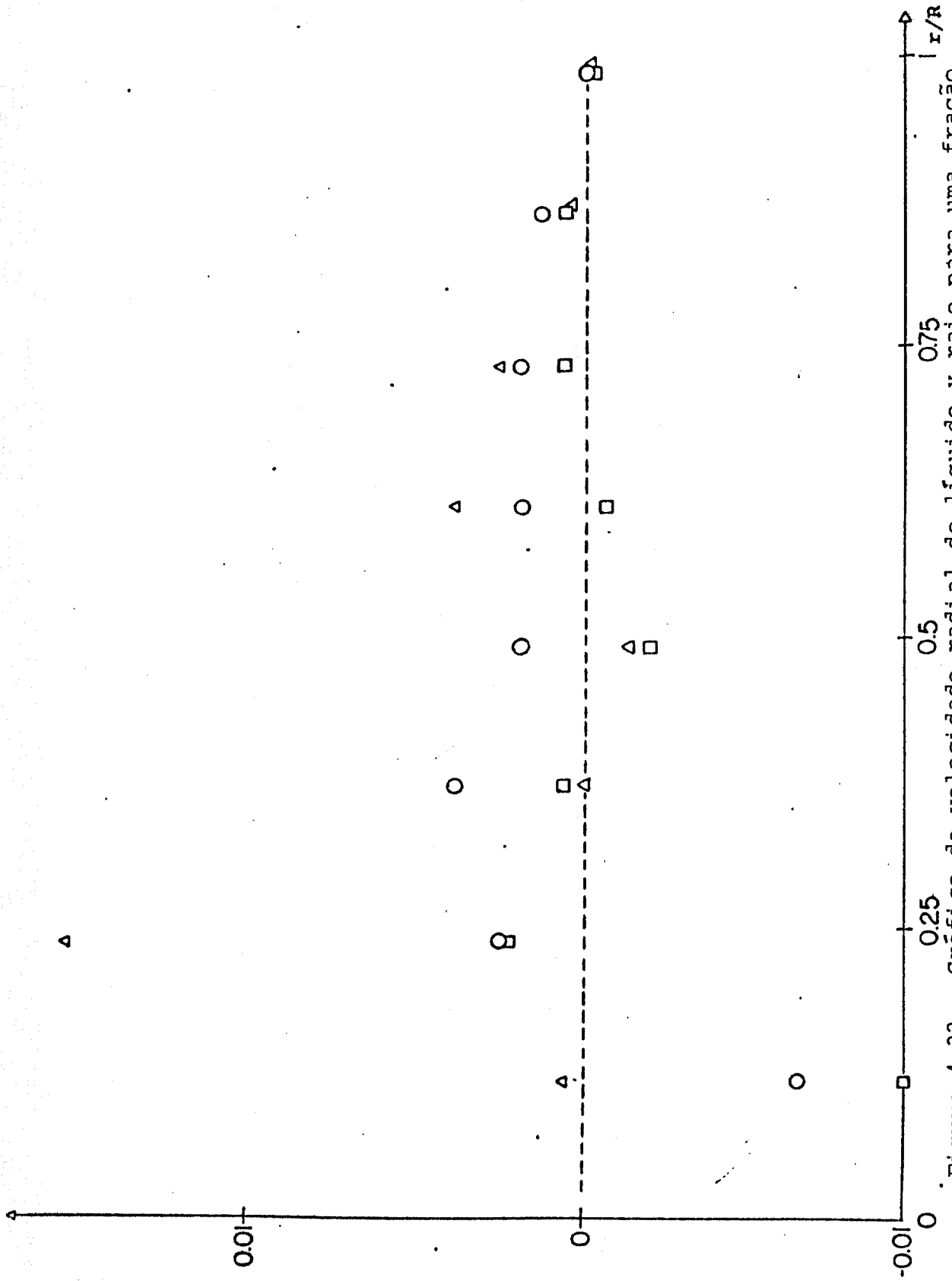
VELOCIDADE RADIAL DO VAPOR (m/s)



- Nível de entrada
- △ Meia altura
- Nível de saída

Figura 4.31 - Gráfico da velocidade radial do vapor x raio para uma fração de vazão 0.8 na entrada do duto

VELOCIDADE RADIAL DO LÍQUIDO (m/s)



- Nível de entrada
- Δ Meia altura
- Nível de saída

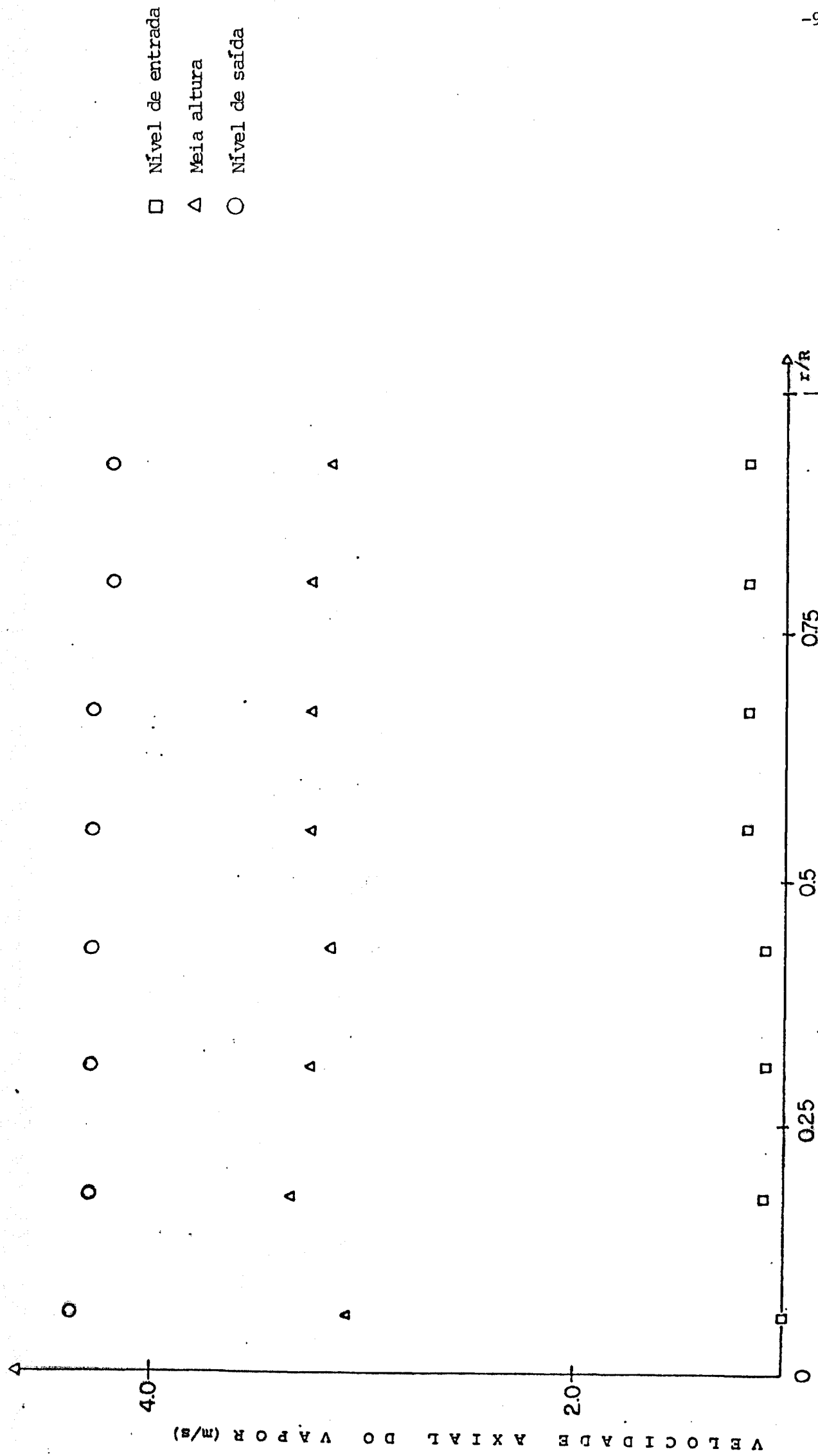


Figura 4.33 - Gráfico da velocidade axial do vapor x raio para uma fração de vazio 0.8 na entrada do duto.

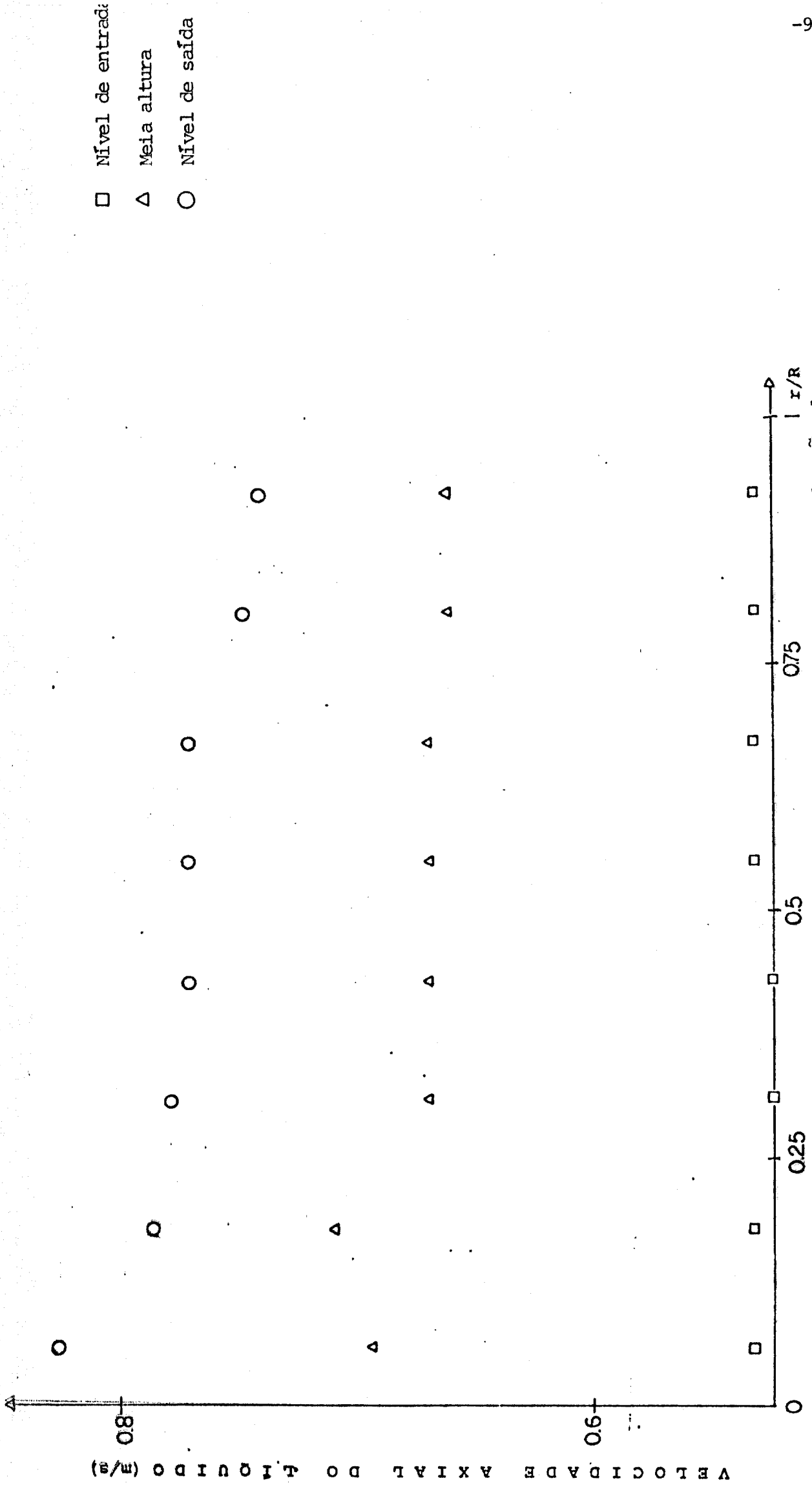


Figura 4.34 - Gráfico da velocidade axial do líquido x raio para uma fração de vazio 0.8 na entrada do duto.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aplicação do modelo de dois fluidos para o estudo do escoamento bifásico em regime transiente é muito trabalhosa, porém este modelo é o que simula mais fielmente este tipo de escoamento, pelo fato de usar um conjunto de equações para cada fase sem impor qualquer restrição (como, por exemplo, velocidades iguais, fases saturadas, etc), conseqüentemente, as informações obtidas através da aplicação deste modelo em escoamento bifásico são bem mais detalhadas em comparação com a aplicação de um outro modelo.

No capítulo quatro, foram mostrados e discutidos os resultados gerados pelo programa através dos testes a que o método de solução das equações foi submetido. Várias constatações foram feitas, algumas de caráter essencialmente matemático, outras de caráter computacional e outras de caráter fenomenológico.

As constatações de caráter matemático evidenciaram que, para todos os testes realizados com o programa, o procedimento numérico para solução do sistema de equações algébricas se manteve preciso, convergente e estável.

Algumas constatações de caráter computacional foram observadas. O consumo de memória e tempo de CPU do programa é relativamente grande em relação a outras técnicas. A isto deve-se principalmente o fato de ter-se usado uma sub-rotina própria para inversão de matriz não esparsa.

Verificou-se, também, que no processamento de dados, utilizando-se o método implícito, o programa necessita de aproximadamente duas iterações para convergir os resultados a uma precisão relativa de 10^{-5} para todas as variáveis em um intervalo de tempo.

Muitas constatações a respeito do comportamento fenomenológico das grandezas envolvidas no escoamento já foram discutidas no capítulo quatro, porém é muito importante relatar algumas conclusões obtidas a partir dos testes 4.6 e 4.7.

Constatou-se que o comportamento numérico do programa é estável para valores baixo e médio de fração de vazio e que diverge para valores altos. O programa converge para altos valores de fração de vazio somente quando se diminui o coeficiente de arrasto de interface em aproximadamente cem vezes em relação ao caso referência. Este fato é bastante compreensível, pois com o aumento de vapor diminui-se a interação entre as fases e, consequentemente, o coeficiente de arrasto de interface. Com isso, confirma-se a dependência deste coeficiente em relação à fração de vazio, isto é, em relação ao regime de escoamento.

Devido à discussão realizada no capítulo quatro sobre os resultados gerados pelo programa e às constatações descritas neste capítulo, conclui-se que o procedimento numérico, desenvolvido nesta dissertação, simula satisfatoriamente o transiente do escoamento bifásico adiabático nas condições prefixadas.

Apesar das dificuldades encontradas, o programa elaborado nesta dissertação é simples em comparação com outros existentes na área de termo-hidráulica. Para tornar o programa mais geral, são feitas algumas sugestões:

- estender o programa para o caso particular de escoamento monofásico;
- aplicar o método para geometria cartesiana;
- aplicar um método mais eficiente para inversão de matriz esparsa;
- pesquisar a elaboração de equações constitutivas que retem mais fielmente o fenômeno abordado.

Além dessas sugestões com relação ao programa de computador, sugere-se a realização de experiências com esse tipo de escoamento para a obtenção de dados como, por exemplo, a distribuição radial da fração de vazio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AGEE, L.J. Retran thermal-hydraulic analysis: Theory and applications. Prog. Nucl. Energy, 10(1):19-67. 1982.
- 2 AEROJET NUCLEAR COMPANY. RELAP. 4/ MOD. 5: a computer program for transient thermal-hydraulic analysis of nuclear reactors and selected systems. Idaho Falls, Idaho National Engineering Lab., 1976. (ANCR-NUREG-1335).
- 3 AMSDEN, A.A. & HARLOW, F.H. The SMAC method: a numerical technique for calculating incompressible fluid flows. Los Alamos, N.M., Los Alamos Scientific Lab., Fev. 1970. (LA-4370).
- 4 BIRD, R.B.; STEWART, W.E.; LIGHTFOOT, E.N. Transport phenomena. New York, Wiley, 1960.
- 5 FAYA, A.J.G. Development of a method for BWR subchannel analysis. Cambridge, Mass. 1979. (PhD. Thesis, Massachusetts Institute of Technology).
- 6 HARLOW, F.H. Numerical methods for fluid dynamics on annotated bibliography. Los Alamos, N.M., Los Alamos Scientific Lab., Sep. 1969. (LA-4281).
- 7 HIRT, C.W. & HARLOW, F.H. A general corrective procedure for the numerical solution of initial value problems. J. Comput. Phys., 2:114-9, 1967.
- 8 HIRT, C.W.; NICHOLS, H.D.; ROMERO, N.C. SOLA: a numerical solution algorithm for transient fluid flows. Los Alamos, N.M., Los Alamos Scientific Lab., Jan. 1975. (LA-5852).
- 9 ISHII, M. Thermo-fluid dynamic theory of two-phase flow. Pt. 1. Fundamental of two-phase flow. Pt. 2. Two-phase field equations based on time average. Pt. 3. Three-dimensional model based on time average. Paris, Eyrolles, 1975.

- 10 MARGOLIS, S.G. & REDFIELD, J.A. FLASH: a program for digital simulation of the LOCA. Pittsburg, Pa., Bettis Atomic Power Lab. May., 1966. (WAPD-TM-534).
- 11 Notas de aula. (Análise de acidentes em reatores nucleares, curso ministrado, no IPEN, 2º semestre 1983).
- 12 RIVARD, W.C.; TORREY, M.D.; comps. K-fix: A computer program for-transient two-fluid flow. Los Alamos, N.M., Los Alamos Scientific Lab., Nov. 1976. (LA-NUREG-6623).
- 13 ROUHANI, Z. Steam-water separation. In: GINOUX, J.J. ed. Two-phase flows and heat transfer with application to nuclear reactor design problems. New York, MacGraw-Hill, 1978. Cap. 13, p. 275-361.
- 14 SCHLICHTING, H. Boundary layer theory. 7.ed. New York, MacGraw-Hill, 1979.
- 15 SOLBRIG, C.W. & HUGHES, E.D. Governing equations for a seriated continuum: an unequal velocity model for two phase-flow. Idaho Falls, Idaho Aerojet Nuclear Co., May, 1975. (ANCR-1193).
- 16 VANNI, E.A. Analise do acidente perda de refrigerante por pequenas rupturas no sistema primário utilizando o código RELAP 5. In: FÍSICA de reatores: 3º encontro nacional realizado em Itaipava, 12-14 dezembro, 1982. p. 521-31.
- 17 VANDER WELLE, R. A contribution to the numerical description of rotating two phase flow. Delft, 1983. (Ph.D. Thesis, Delft University of Technology).
- 18 VAN WYLEN, G.J. & SONNTAG, R.E. Fundamentos da termodinâmica. São Paulo, Edgar Blucher, 1970.
- 19 VORST, M.J.V.; STUHMILLER, J.H.; STEININGER, D.A. Numerical simulation of the fluid flow in a centrifugal steam separator. In: AMERICAN NUCLEAR SOCIETY. Advances in mathematical methods for the solution of nuclear engineering problems: proceedings of the international meeting on ...

held in Munchen, April 27-29, 1981. v. 1, p. 647-61.

- 20 WELCH, J.E.; HARLOW, F.H.; SHANNON, J.P.; DALY, B.J. The Mac method. A computing technique for solving viscous incompressible, transient fluid-flow problems involving free surfaces. Los Alamos, N.M., Los Alamos Scientific Lab., Nov. 1965. (LA-3425).

APÊNDICE A

DESCRIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

Este apêndice mostra e explica os cartões de dados de entrada utilizados no caso referência.

Cartão 1 - (9(4X,I1)) IVP1,IVP2,IVP3,IVP4,IVP5,IVP6,IVP7,IVP8 ,
IVP9

- IVP1 - Controlador da impressão dos dados de entrada
- IVP2 - Controlador da impressão do raio
- IVP3 - Controlador da impressão da matriz pentadiagonal
- IVP4 - Controlador da impressão da matriz inversa
- IVP5 - Controlador da impressão da matriz lado direito
- IVP6 - Controlador da impressão da pressão
- IVP7 - Controlador da impressão da fração de vazio e das velocidades radial e axial do vapor e do líquido
- IVP8 - Controlador da impressão dos gráficos
- IVP9 - Controlador da impressão dos valores de contorno

Cartão 2 - (4(1X,I4)) IVP10,IVP11,IVP12,IVP13

- IVP10 - Intervalo de impressão
- IVP11 - Nível axial da 1ª curva
- IVP12 - Nível axial da 2ª curva
- IVP13 - Nível axial da 3ª curva

Cartão 3 - (5(1X,I4)) I1,J1,NN,MM,NMM

- I1 - Número máximo de malhas radial
- J1 - Número máximo de malhas axial
- NN - Número máximo de ciclos de tempo
- MM - Número máximo de iterações por ciclo de tempo
- NMM - Número máximo de mudanças na ordem de grandeza da precisão das variáveis.

Cartão 4 - (5 D12.5) RR,ZZ,DG,DL,GZ

RR - Raio
ZZ - Altura
DG - Densidade do gás
DL - Densidade do líquido
GZ - Aceleração da gravidade

Cartão 5 - (5 D12.5) VG,VL,CD,RD,VINF

VG - Viscosidade do gás
VL - Viscosidade do líquido
CD - Coeficiente de arrasto de interface
RD - Raio médio da bolha
VINF - Velocidade no meio infinito

Cartão 6 - (5 D12.5) DT,PCS1, PCS2,PARE, VM

DT - Incremento de tempo
PCS1 - Precisão das grandezas em um ciclo de tempo
PCS2 - Precisão das grandezas entre ciclos de tempo
PARE - Parâmetro de relaxação
VM - Coeficiente de aceleração de estimativa inicial

Cartão 7 - (5 D12.5) CIA,CIUG,CIUL,CIVG,CIVL

CIA - Condição inicial da fração de vazio
CIUG - Condição inicial da velocidade radial do gás
CIUL - Condição inicial da velocidade radial do líquido
CIVG - Condição inicial da velocidade axial do gás
CIVL - Condição inicial da velocidade axial do líquido

Cartão 8 (5 D12.5) CHIA,CHIUG,CHIUL,CHIVG,CHIVL

CHIA - Estimativa inicial da fração de vazio
CHIUG - Estimativa inicial da velocidade radial do gás
CHIUL - Estimativa inicial da velocidade radial do líquido
CHIVG - Estimativa inicial da velocidade axial do gás
CHIVL - Estimativa inicial da velocidade axial do líquido

Cartão 9 - (4 D12.5) PP0, PPR, A0, AR

PP0 - Pressão na entrada em $r=0$

PPR - Pressão na entrada em $r=R_{MAX}$

A0 - Fração de vazio na entrada em $r=0$

AR - Fração de vazio na entrada em $r=R_{MAX}$

Cartão 10 - (4 D12.5) CCVIG0, CCVIGR, CCVIL0, CCVILR

CCVIG0 - Velocidade axial do gás na entrada em $r=0$

CCVIGR - Velocidade axial do gás na entrada em $r=R_{MAX}$

CCVIL0 - Velocidade axial do líquido na entrada $r=0$

CCVILR - Velocidade axial do líquido na entrada $r=R_{MAX}$

Cartão 11 (3D12.5) CCAJ, CCUJG, CCUJL

CCAJ - Fração de vazio na parede

CCUJG - Velocidade radial do gás na parede

CCUJL - Velocidade radial do líquido na parede

A figura A.1 mostra o conjunto de cartões de dados de entrada utilizado no caso referência.

APÊNDICE B

DADOS DE SAÍDA

O objetivo deste apêndice é mostrar algumas das saídas do programa em relação ao caso referência, cujos cartões de dados de entrada são mostrados no apêndice A. As tabelas B1 até B5 e as figuras B1 até B6 representam algumas páginas das saídas do programa onde a disposição dos dados de saída é a mesma da listagem original.

IMPRESSAO DOS VALORES CA MATRIZ DA PRESSAO.

	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0	0.68948000 07	0.68548000 07	0.68948000 07	0.68948000 07	0.68948000 07	0.0
2	0.68727080 07	0.68727080 07	0.68727080 07	0.68727080 07	0.68727080 07	0.68727080 07	0.68727080 07
3	0.68719150 07	0.68719150 07	0.68719150 07	0.68719150 07	0.68719150 07	0.68719150 07	0.68719150 07
4	0.68711650 07	0.68711650 07	0.68711650 07	0.68711650 07	0.68711650 07	0.68711650 07	0.68711650 07
5	0.68704080 07	0.68704080 07	0.68704080 07	0.68704080 07	0.68704080 07	0.68704080 07	0.68704080 07
6	0.68696510 07	0.68696510 07	0.68696510 07	0.68696510 07	0.68696510 07	0.68696510 07	0.68696510 07
7	0.68688930 07	0.68688930 07	0.68688930 07	0.68688930 07	0.68688930 07	0.68688930 07	0.68688930 07
8	0.68681360 07	0.68681360 07	0.68681360 07	0.68681360 07	0.68681360 07	0.68681360 07	0.68681360 07
9	0.68673780 07	0.68673780 07	0.68673780 07	0.68673780 07	0.68673780 07	0.68673780 07	0.68673780 07
10	0.68666210 07	0.68666210 07	0.68666210 07	0.68666210 07	0.68666210 07	0.68666210 07	0.68666210 07
11	0.68658640 07	0.68658640 07	0.68658640 07	0.68658640 07	0.68658640 07	0.68658640 07	0.68658640 07
12	0.0	0.68651230 07	0.68651100 07	0.68651090 07	0.68651040 07	0.68651030 07	0.0

Tabela B.1 - Distribuição da pressão gerada pelo programa.

IMPRESSAO DOS VALORES DE ENTRADA.

1- VARIÁVEIS INTEIRAS CONTROLADORAS DA OPÇÃO DE IMPRESSÃO.

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
200	2	6	10						

2- VARIÁVEIS INTEIRAS DE DIMENSIONAMENTO ESPACIAL E NUMÉRICO.

5	10	600	20	3
---	----	-----	----	---

3- VARIÁVEIS REAIS.

0.900000-01	0.120000 01	0.180000-01	0.120000 00						
0.200000 02	0.800000 03	-0.980000 01							
0.175000-04	0.109000-03	0.100000-01	0.100000-02	0.0					
0.100000-03	0.100000-04	0.100000-04	0.100000 01	0.100000 01					
0.200000 00	-0.200000-02	0.100000-02	0.200000 01	0.100000 01					
0.200000 00	-0.200000-02	0.100000-02	0.200000 01	0.100000 01					
0.689480 07	0.685480 07	0.200000 00	0.200000 00						
0.200000 01	0.200000 01	0.100000 01	0.100000 01						
0.0	0.0	0.0							

IMPRESSAO DOS VALORES DO VETOR RAIO.

1	2	3	4	5	6	7
0.18000000-01	0.0	0.18000000-01	0.36000000-01	0.54000000-01	0.72000000-01	0.90000000-01
0.90000000-02	0.90000000-02	0.27000000-01	0.45000000-01	0.63000000-01	0.81000000-01	0.99000000-01
0.0	0.18000000-01	0.36000000-01	0.54000000-01	0.72000000-01	0.90000000-01	0.10800000 00

Tabela B.2 - Dados de entrada e impressão dos raios gerados pelo programa.

TIME STEP NUMBER = 600
 NUMERO DE ITERACOES REALIZADAS PARA A CONVERGENCIA * 2
 PRECISAO DAS GRANDEZAS OBTIDAS NESSE TIME STEP = 0.100000-04
 VALOR DO INTERVALO DE TEMPO = 0.100000-03

IMPRESSAO DOS VALORES DA GRANDEZA FRACAO DE VAZIO.

	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0	0.20000000	0.20000000	0.20000000	0.20000000	0.20000000	0.0
2	0.25455810	0.25455810	0.24861070	0.24940230	0.24614010	0.24411720	0.0
3	0.21758410	0.21758410	0.20661260	0.20601160	0.19981430	0.19800240	0.0
4	0.21982230	0.21982230	0.20594170	0.20370350	0.19709340	0.19566080	0.0
5	0.22171740	0.22171740	0.20598000	0.20365700	0.19689320	0.19561540	0.0
6	0.22242370	0.22242370	0.20592980	0.20336430	0.19681750	0.19561490	0.0
7	0.22232330	0.22232330	0.20592960	0.20337560	0.19682900	0.19561320	0.0
8	0.22330800	0.22330800	0.20592180	0.20327160	0.19674920	0.19559880	0.0
9	0.22069770	0.22069770	0.20567020	0.20346610	0.19703310	0.19570260	0.0
10	0.22632390	0.22632390	0.20668930	0.20329990	0.19629440	0.19531720	0.0
11	0.21800200	0.21800200	0.20459110	0.20313220	0.19768410	0.19613300	0.0
12	0.0	0.21800200	0.20459110	0.20313220	0.19768410	0.19613300	0.0

IMPRESSAO DOS VALORES DA GRANDEZA VELOCIDADE RADIAL DO VAPORE.

	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	-0.23316490-02	-0.18174260-02	-0.47720750-03	-0.20493040-02	0.0	-0.20493040-02
3	0.0	-0.29490800-02	-0.19816470-02	-0.29306590-02	-0.55391410-02	0.0	-0.55391410-02
4	0.0	-0.35369840-02	-0.39934230-02	-0.59710420-02	-0.64566400-02	0.0	-0.64566400-02
5	0.0	-0.45717790-02	-0.56853030-02	-0.63701910-02	-0.65521420-02	0.0	-0.65521420-02
6	0.0	-0.63668920-02	-0.65020820-02	-0.66011840-02	-0.65354960-02	0.0	-0.65354960-02
7	0.0	-0.60089280-02	-0.62911460-02	-0.65016370-02	-0.65480410-02	0.0	-0.65480410-02
8	0.0	-0.81643470-02	-0.76297300-02	-0.71163190-02	-0.66139320-02	0.0	-0.66139320-02
9	0.0	-0.45626480-02	-0.47158900-02	-0.52809830-02	-0.61714060-02	0.0	-0.61714060-02
10	0.0	-0.90748930-02	-0.89562170-02	-0.87734390-02	-0.72110400-02	0.0	-0.72110400-02
11	0.0	-0.53604460-03	-0.12539110-02	0.53783060-03	-0.24427600-02	0.0	-0.24427600-02
12	0.0	-0.53604460-03	-0.12539110-02	0.53783060-03	-0.24427600-02	0.0	-0.24427600-02

Tabela B.3 - Variáveis de conservação geradas pelo programa.

IMPRESSAO DOS VALORES DA GRANDEZA VELOCIDADE RADIAL DO LIQUIDO.

1	2	3	4	5	6	7
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.3107545D-03	0.3094447D-03	0.3464330D-03	0.2000235D-03	0.4000235D-03
3	0.0	0.3582902D-03	0.3625050D-03	0.2943000D-03	0.1146607D-03	0.1146607D-03
4	0.0	0.2354370D-03	0.1958347D-03	0.1180112D-03	0.5156097D-04	0.5155097D-04
5	0.0	0.1118896D-03	0.9178241D-04	0.5717147D-04	0.4032314D-04	0.4022314D-04
6	0.0	0.8759989D-04	0.5117531D-04	0.4312305D-04	0.3966201D-04	0.3966201D-04
7	0.0	0.7511792D-04	0.5825428D-04	0.4541953D-04	0.3971742D-04	0.3971742D-04
8	0.0	-0.4380872D-03	0.7180118D-03	0.2293219D-04	0.3658377D-04	0.3658377D-04
9	0.0	0.1417616D-03	0.1235093D-03	0.9639232D-04	0.5477278D-04	0.5477278D-04
10	0.0	-0.8427939D-04	-0.8332199D-04	-0.7046850D-04	0.4018137D-03	0.4018137D-03
11	0.0	0.3595052D-03	0.3246840D-03	0.3806707D-03	0.2411364D-03	0.2411364D-03
12	0.0	0.3595052D-03	0.3246840D-03	0.3806707D-03	0.2411364D-03	0.2411364D-03

IMPRESSAO DOS VALORES DA GRANDEZA VELOCIDADE AXIAL DO VAPOR.

1	2	3	4	5	6	7
1	0.0	0.2000000D 01	0.2000000D 01	0.2000000D 01	0.2000000D 01	0.0
2	0.1476887D 01	0.1476887D 01	0.1484588D 01	0.1464214D 01	0.1437446D 01	-0.1454463D 01
3	0.1420789D 01	0.1420789D 01	0.1402983D 01	0.1400696D 01	0.1391674D 01	-0.1389287D 01
4	0.1424069D 01	0.1424069D 01	0.1403064D 01	0.1397630D 01	0.1390432D 01	-0.1388330D 01
5	0.1425510D 01	0.1425510D 01	0.1403194D 01	0.1399646D 01	0.1390375D 01	-0.1388372D 01
6	0.1425962D 01	0.1425962D 01	0.1403192D 01	0.1399597D 01	0.1390360D 01	-0.1388370D 01
7	0.1424467D 01	0.1424467D 01	0.1403162D 01	0.1399540D 01	0.1390305D 01	-0.1388340D 01
8	0.1423477D 01	0.1423477D 01	0.1402965D 01	0.1399587D 01	0.1390448D 01	-0.1388430D 01
9	0.1427292D 01	0.1427292D 01	0.1403486D 01	0.1399615D 01	0.1390150D 01	-0.1388206D 01
10	0.1426268D 01	0.1426268D 01	0.1402862D 01	0.1399473D 01	0.1390424D 01	-0.1388494D 01
11	0.1408283D 01	0.1408283D 01	0.1398343D 01	0.1397193D 01	0.1392950D 01	-0.1391507D 01
12	0.0	0.1408283D 01	0.1398343D 01	0.1397193D 01	0.1392950D 01	-0.1391507D 01

IMPRESSAO DOS VALORES DA GRANDEZA VELOCIDADE AXIAL DO LIQUIDO.

1	2	3	4	5	6	7
1	0.0	0.1000000D 01	0.1000000D 01	0.1000000D 01	0.1000000D 01	0.0
2	0.1040284D 01	0.1040284D 01	0.1035654D 01	0.1035297D 01	0.1032936D 01	-0.1032253D 01

Tabela B.4 - Variáveis de conservação (continuação I) geradas pelo programa.

3	0.10138920 01	0.10138920 01	0.10075910 01	0.10067290 01	0.10038550 01	0.10031620 01	-0.10031620 01
4	0.10136110 01	0.10136110 01	0.10064880 01	0.10054090 01	0.10024700 01	0.10018070 01	-0.10018070 01
5	0.10139080 01	0.10139080 01	0.10064810 01	0.10053590 01	0.10024310 01	0.10017810 01	-0.10017810 01
6	0.10139610 01	0.10139610 01	0.10064690 01	0.10053480 01	0.10024270 01	0.10017800 01	-0.10017800 01
7	0.10140460 01	0.10140460 01	0.10064740 01	0.10053380 01	0.10024150 01	0.10017700 01	-0.10017700 01
8	0.10138460 01	0.10138460 01	0.10064260 01	0.10053440 01	0.10024450 01	0.10017990 01	-0.10017990 01
9	0.10142270 01	0.10142270 01	0.10065460 01	0.10053480 01	0.10023820 01	0.10017330 01	-0.10017330 01
10	0.10145140 01	0.10145140 01	0.10065020 01	0.10054020 01	0.10023610 01	0.10017530 01	-0.10017530 01
11	0.10046650 01	0.10046650 01	0.10040090 01	0.10039180 01	0.10036670 01	0.10035610 01	-0.10035610 01
12	0.0	0.10046650 01	0.10040090 01	0.10039180 01	0.10036670 01	0.10035610 01	0.0

Tabela B.5 - Variáveis de conservação (continuação II) geradas pelo programa

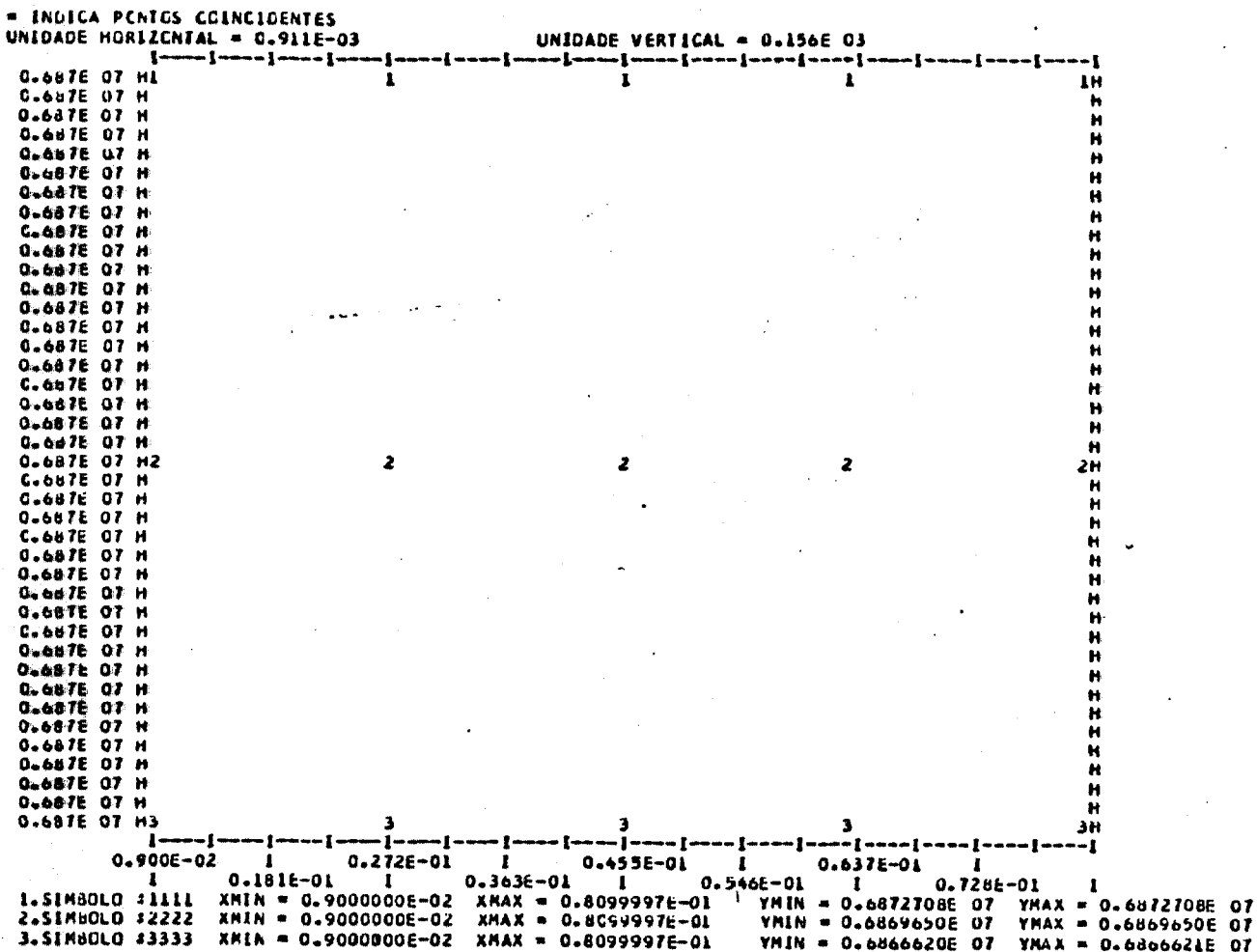


Figura B.1 - Gráfico da pressão x raio gerado pelo programa

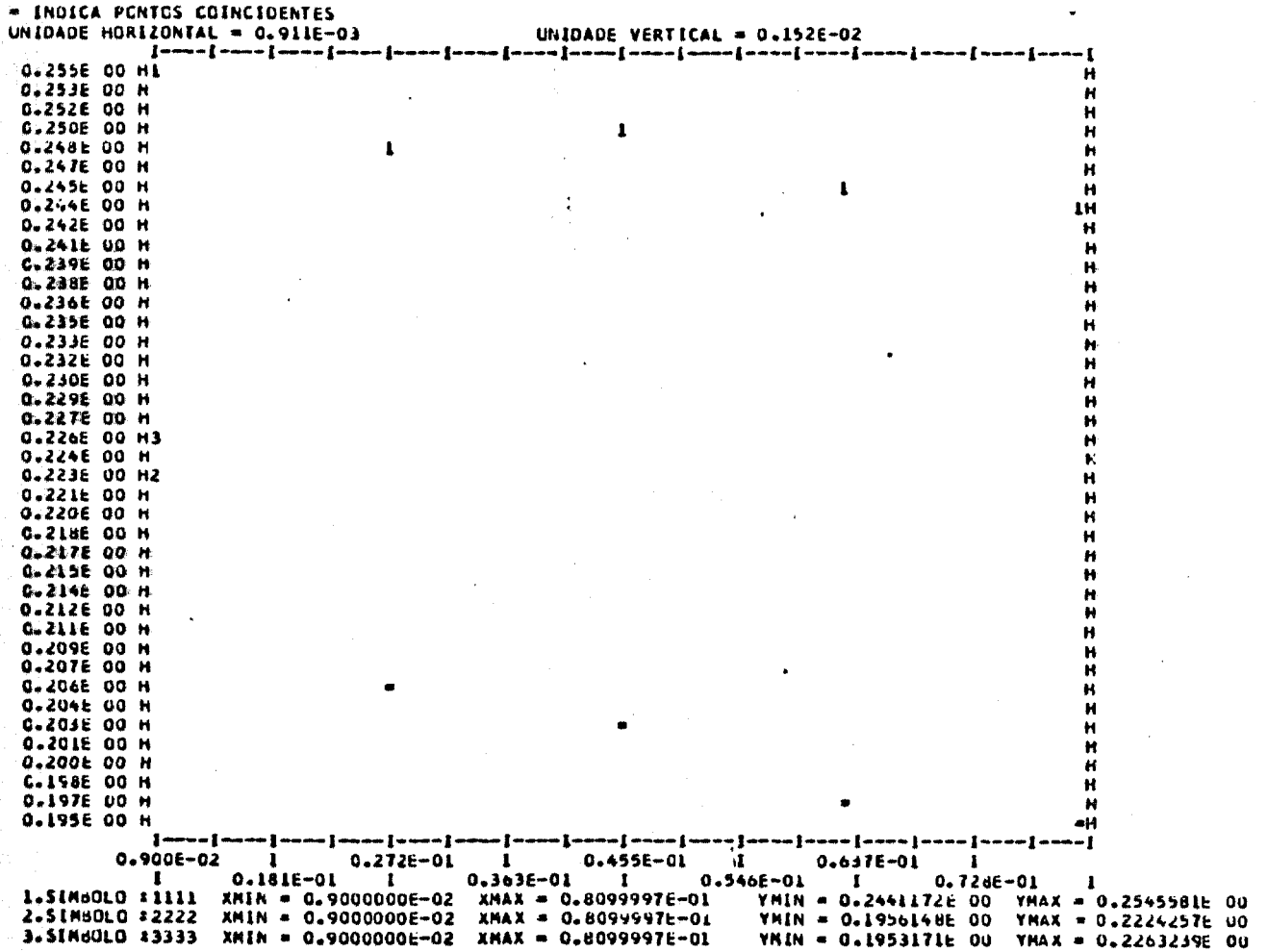


Figura B.2 - Gráfico da fração de vazio x raio gerado pelo programa.

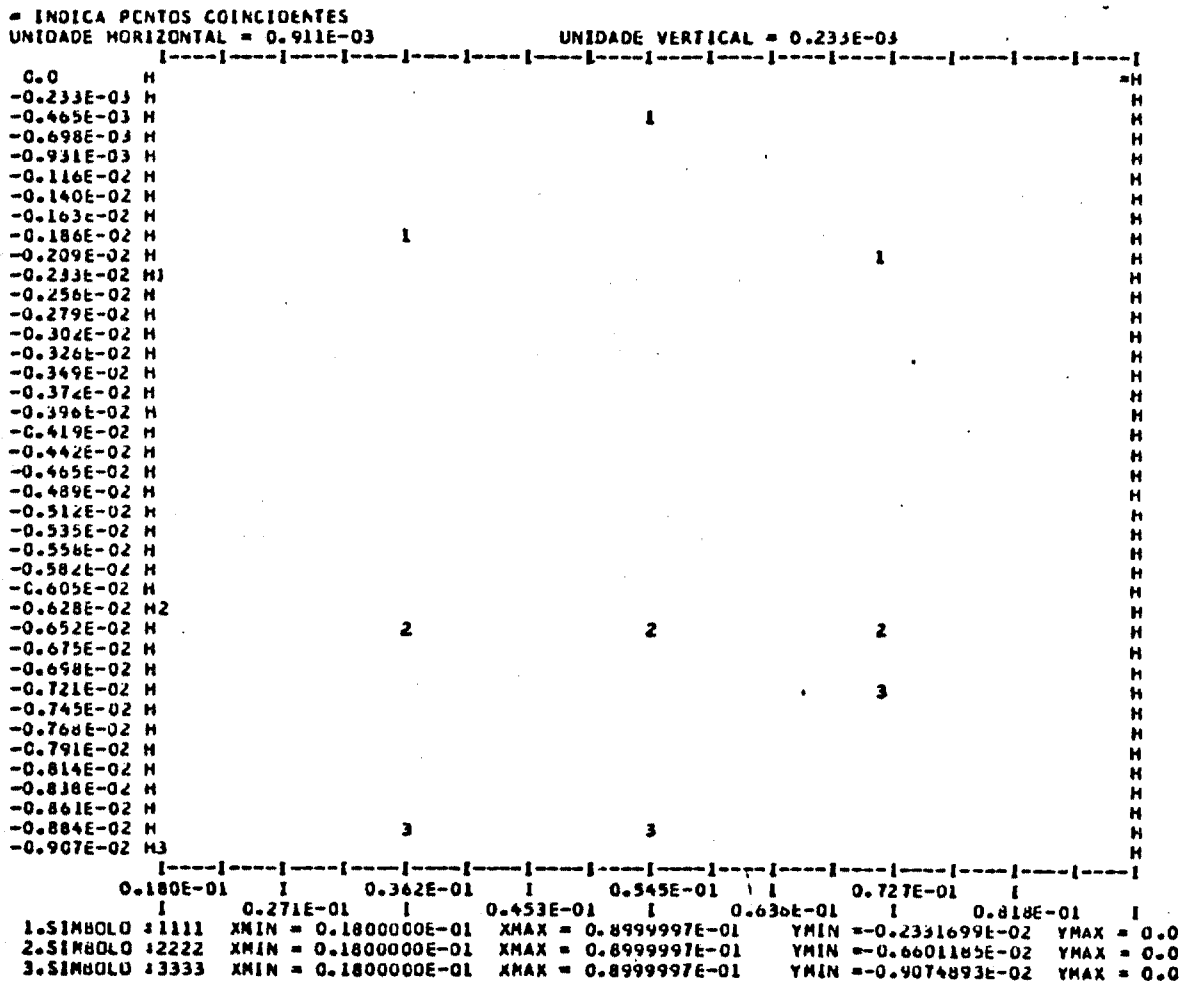


Figura B.3 - Gráfico da velocidade radial do vapor x raio gerado pelo programa.

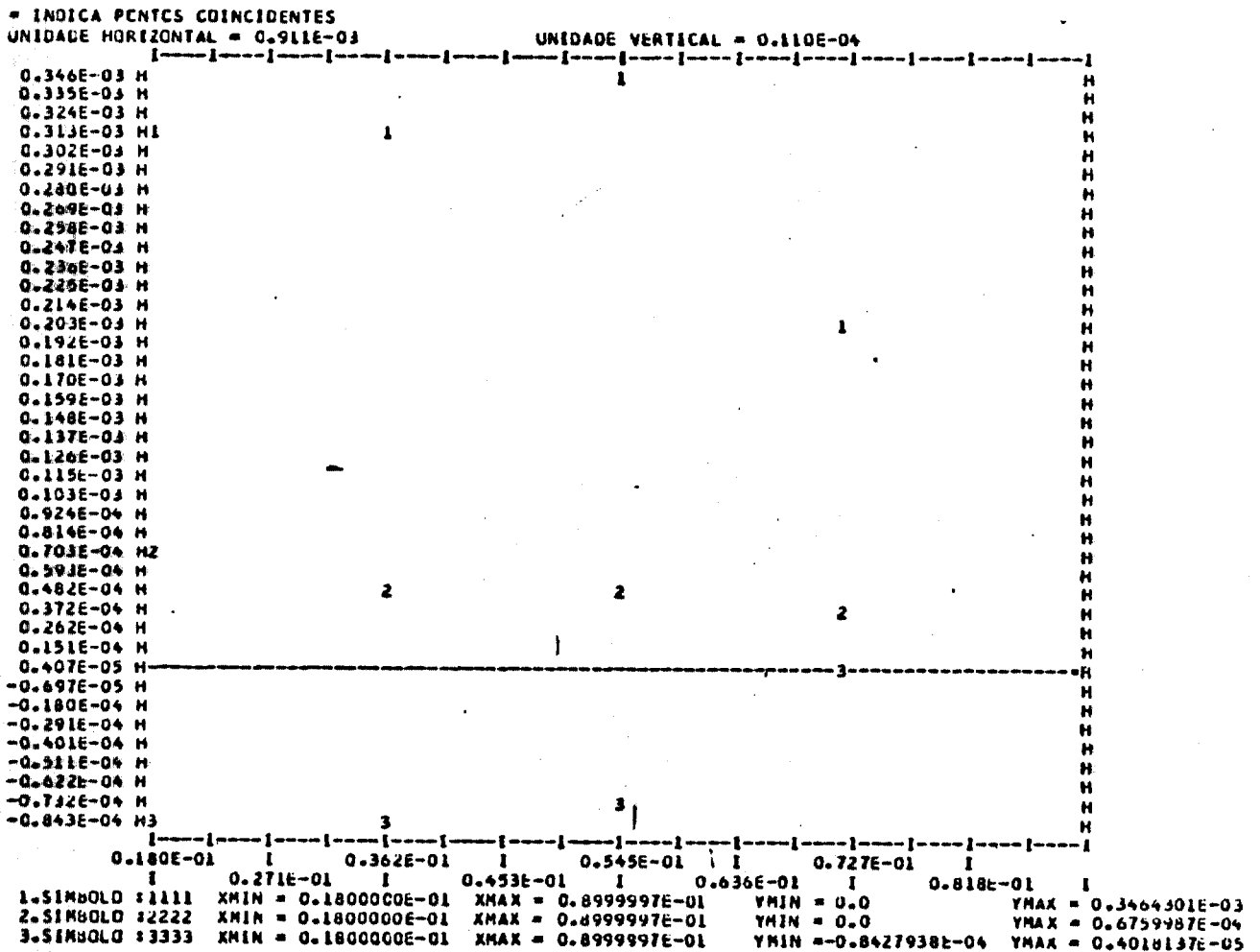


Figura B.4 - Gráfico da velocidade radial do líquido x raio gerado pelo programa.

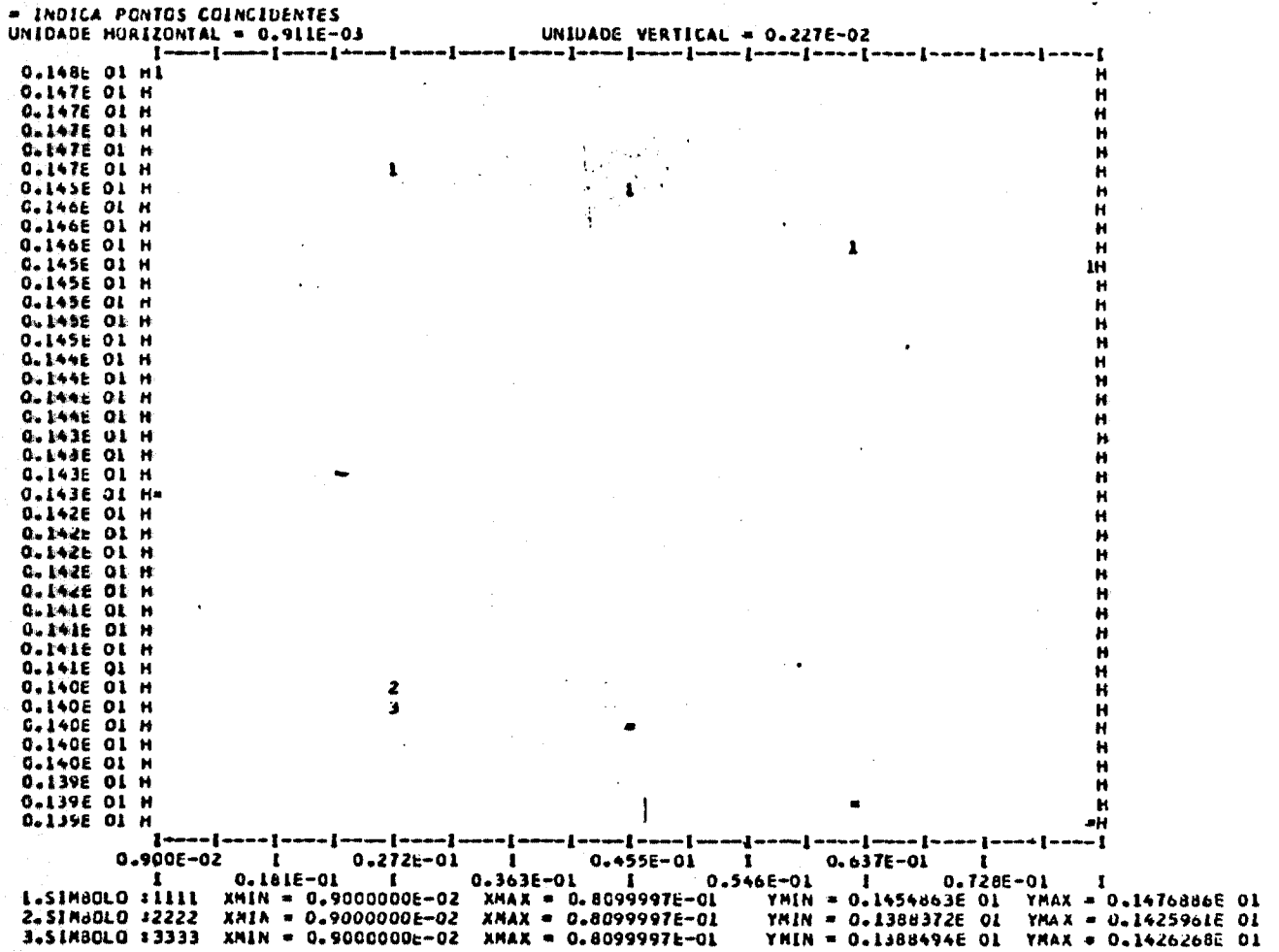


Figura B.5 - Gráfico da velocidade axial do vapor x raio gerado pelo programa.

APÊNDICE C

LISTAGEM DO PROGRAMA FONTE

Este apêndice mostra a listagem completa do programa computacional elaborado neste trabalho, porém, para melhor compreensão do programa, definem-se antes as principais variáveis utilizadas nele.

Variáveis inteiras

- II - Número máximo de malhas na direção radial dentro da região de estudo. re
- III - Número máximo de malhas na direção radial
- J1 - Número máximo de malhas na direção axial dentro da região de estudo. re
- JJ1 - Número máximo de malhas na direção axial
- IJ1 - Número total de malhas dentro da região de estudo
- NN - Número máximo de ciclos de tempo
- MM - Número máximo de iterações por ciclo de tempo
- NMM - Número máximo de mudanças na ordem de precisão das variáveis.
- IVP1 - Controlador de impressão dos dados de entrada
- IVP2 - Controlador de impressão do raio
- IVP3 - Controlador de impressão da matriz pentadiagonal
- IVP4 - Controlador de impressão da matriz inversa
- IVP5 - Controlador de impressão da matriz lado direito
- IVP6 - Controlador de impressão da matriz da pressão
- IVP7 - Controlador de impressão das variáveis de conservação
- IVP8 - Controlador de impressão dos gráficos
- IVP9 - Controlador de impressão dos contornos
- IVP10 - Ciclo de tempo em que há impressão das tabelas.
- IVP11 - Nível axial da 1ª curva
- IVP12 - Nível axial da 2ª curva
- IVP13 - Nível axial da 3ª curva

Variáveis reais subscritadas

- A1 - Fração de vazio no ciclo de tempo N
- A2 - Fração de vazio no ciclo de tempo $N+1/2$
- A3 - Fração de vazio no ciclo de tempo N+1 (estimada)
- A4 - Fração de vazio no ciclo de tempo N+1 (calculada)
- U1G - Velocidade radial do vapor no ciclo de tempo N
- V1G - Velocidade axial do vapor no ciclo de tempo N
- U1L - Velocidade radial do líquido no ciclo de tempo N
- V1L - Velocidade axial do líquido no ciclo de tempo N
- U2G - Velocidade radial do vapor no ciclo de tempo $N+1/2$
- V2G - Velocidade axial do vapor no ciclo de tempo $N+1/2$
- U2L - Velocidade radial do líquido no ciclo de tempo $N+1/2$
- V2L - Velocidade axial do líquido no ciclo de tempo $N+1/2$
- U3G - Velocidade radial do vapor no ciclo de tempo N+1 (estimada)
- V3G - Velocidade axial do vapor no ciclo de tempo N+1 (estimada)
- U3L - Velocidade radial do líquido no ciclo de tempo N+1 (estimada)
- V3L - Velocidade axial do líquido no ciclo de tempo N+1 (estimada)
- U4G - Velocidade radial do vapor no ciclo de tempo N+1 (calculada)
- V4G - Velocidade axial do vapor no ciclo de tempo N+1 (calculada)
- U4L - Velocidade radial do líquido no ciclo de tempo N+1 (calculada)
- V4L - Velocidade axial do líquido no ciclo de tempo N+1 (calculada)
- XMAT - Matriz pentadiagonal e matriz inversa
- PP - Matriz da pressão
- SR - Matriz lado direito
- RE2 - Raio no ponto $i-1/2$
- R - Raio no ponto i
- RA2 - Raio no ponto $i+1/2$

Variáveis reais não subscritadas

RR - Raio do duto
 ZZ - Altura do duto
 DR - Incremento radial
 DZ - Incremento axial
 DG - Densidade do vapor
 DL - Densidade do líquido
 VG - Viscosidade do vapor
 VL - Viscosidade do líquido
 CD - Coeficiente de arrasto de interface
 RD - Raio médio da bolha
 DT - Incremento de tempo
 PCS1 - Precisão das variáveis no ciclo de tempo
 PCS2 - Precisão das variáveis entre ciclos de tempo
 PARE - Parâmetro de relaxação
 CIA - Condição inicial da fração de vazio
 CHIA - Estimativa inicial da fração de vazio
 CIUG - Condição inicial da velocidade radial do vapor
 CHIUG - Estimativa inicial da velocidade radial do vapor
 CIUL - Condição inicial da velocidade radial do líquido
 CHIUL - Estimativa inicial da velocidade radial do líquido
 CIVG - Condição inicial da velocidade axial do vapor
 CHIVG - Estimativa inicial da velocidade axial do vapor
 CIVL - Condição inicial da velocidade axial do líquido
 CHIVL - Estimativa inicial da velocidade axial do líquido
 PP0 - Pressão na entrada ($r=0$)
 PPR - Pressão na entrada ($r=R_{MAX}$)
 A0 - Fração de vazio na entrada ($r=0$)
 AR - Fração de vazio na entrada ($r=R_{MAX}$)
 CCVIG0 - Velocidade axial do vapor na entrada ($r=0$)
 CCVIGR - Velocidade axial do vapor na entrada ($r=R_{MAX}$)
 CCVIL0 - Velocidade axial do líquido na entrada ($r=0$)
 CCVILR - Velocidade axial do líquido na entrada ($r=R_{MAX}$)
 CCAJ - Fração de vazio na parede
 CCUJG - Velocidade radial do vapor na parede
 CCUJL - Velocidade radial do líquido na parede

As variáveis que aparecem nos comandos COMMON /D1/ , COMMON /D2/, COMMON /D3/, COMMON /D4/ e COMMON /D5/, com exceção das va

riáveis RA1 e RA3, seguem a seguinte regra de formação.

1^a letra define o tipo de variável

- A - Fração de vazio
- U - Velocidade radial
- V - Velocidade axial

2^a letra define a fase

- G - Vapor
- L - Líquido

Obs.: esta letra não entra na formulação da variável, quando precedida pela letra A.

3^a e 4^a letras definem a posição radial na malha em relação ao ponto genérico i.

- E3 - $i-3/2$
- E2 - $i-1$
- E1 - $i-1/2$
- NI - i
- A1 - $i+1/2$
- A2 - $i+1$
- A3 - $i+3/2$

5^a e 6^a letras definem a posição axial na malha em relação ao ponto genérico j.

- E3 - $j-3/2$
- E2 - $j-1$
- E1 - $j-1/2$
- NJ - j
- A1 - $j+1/2$
- A2 - $j+1$
- A3 - $j+3/2$


```

-> CALL BCUND                                00000640
C                                              00000650
C FIXACAO DO VALOR ZERO EM ALGUNS TRECHOS DE VETORES PARA EVITAR-SE COLEO0000660
C TA DE LIXO.                                00000670
C                                              00000680
-> CALL NTRASH                                00000690
C                                              00000700
C CALCULO DOS ELEMENTOS E MONTAGEM DA MATRIZ PENTADIAGONAL DOS COEFICI- 00000710
C ENTES DA EQUACAO DA PRESSAO.              00000720
C                                              00000730
-> CALL PENTA                                00000740
C                                              00000750
C IMPRESSAO DA MATRIZ PENTA.                 00000760
C                                              00000770
C      IF(IVP3.EQ.1) CALL PRINTT(4)           00000780
C                                              00000790
C CALCULO DA MATRIZ INVERSA. ,              00000800
C                                              00000810
C      CALL MBOICD(XMAT,IJ1,239,1W,W)        00000820
C                                              00000830
C IMPRESSAO DA MATRIZ INVERSA.              00000840
C                                              00000850
C      IF(IVP4.EQ.1) CALL PRINTT(5)         00000860
C                                              00000870
C FIXACAO DO VALOR ZERO PARA AS VARIAVEIS CONTADORAS DE INTERVALOS DE 00000880
C TEMPO, ITERACOES EM UM INTERVALO DE TEMPO, MUDANCAS NA ORDEM DE PRECI 00000890
C SAO E INTERVALOS DE IMPRESSAO PARA O CALCULO DAS GRANDEZAS DE INTE 00000900
C RESSE.                                     00000910
C                                              00000920
C      NT=0                                   00000930
C      MT=0                                   00000940
C      NM=0                                   00000950
C      NP=0                                   00000960
C                                              00000970
C INICIO DA SECCAO QUE CALCULA AS GRANDEZAS PARA A ITERACAO M+1.          00000980
C                                              00000990
C CALCULO DOS ELEMENTOS E MONTAGEM DA MATRIZ, LADO DIREITO, DA EQUACAO DA 00001000
C PRESSAO.                                   00001010
C                                              00001020
C 100 CALL FIXV(1)                            00001030
C                                              00001040
C CALCULO DA PRESSAO PARA A ITERACAO M+1.    00001050
C                                              00001060
C      > CALL PRESS                           00001070
C                                              00001080
C CALCULO DA FRACAO DE VAZIO E DAS VELOCIDADES RADIAL E AXIAL DO VAPOR E 00001090
C DO LIQUIDO PARA O TIME STEP N+1/2.        00001100
C                                              00001110
-> 200 CALL GMEIO                              00001120
C                                              00001130
C RESOLUCAO DAS EQUACOES NAO LINEARES PARA A ITERACAO M+1.                00001140
C                                              00001150
C      CALL FIXV(2)                           00001160
C                                              00001170
C FIM DA SECCAO QUE CALCULA AS GRANDEZAS PARA A ITERACAO M+1.            00001180
C                                              00001190
C      HT=HT+1.                               00001200
C                                              00001210
C VERIFICACAO DA CONVERGENCIA DOS VALORES DAS GRANDEZAS CALCULADAS PARA 00001220
C A ITERACAO M+1.                            00001230
C                                              00001240
-> CALL TCONV(1)                              00001250

```

```

IF(IVC.EQ.0) GO TO 400                                00001260
C                                                       00001270
C NAO HOUVE CONVERGENCIA.VERIFICACAO DO NUMERO DE ITERACOES REALIZADAS 00001280
C PARA O TIME STEP N+1.                               00001290
C                                                       00001300
C IF(MT.LT.MM) GO TO 300                              00001310
C O NUMERO DE ITERACOES REALIZADAS ULTRAPASSOU O LIMITE MAXIMO PERMISSI-00001320
C VEL.ABAIXAMENTO DA ORDEM DE GRANDEZA DA PRECISAO DOS RESULTADOS EM UMA00001330
C POTENCIA DE DEZ.                                   00001340
C                                                       00001350
NM=NM+1                                               00001360
IF(NM.GT.NMM) STOP                                   00001370
PCS1=PCS1*10.                                        00001380
PCS2=PCS2*10.                                        00001390
MT=0                                                  00001400
300 CALL TRANSF(1)                                    00001410
C                                                       00001420
C O PROCESSAMENTO DE DADOS RETORNA PARA CALCULAR OS VALORES DAS GRANDE- 00001430
C ZAS NO TIME STEP N+1/2.                            00001440
C                                                       00001450
GO TO 200                                             00001460
C                                                       00001470
C HOUVE CONVERGENCIA.IMPRESSAO DA MATRIZ,LADO DIREITO,E IMPRESSAO E    00001480
C GRAFICU DA MATRIZ DA PRESSAO E DOS DADOS DE SAIDA REFERENTES AO TIME 00001490
C STEP N+1.                                           00001500
C                                                       00001510
400 NT=NT+1                                           00001520
NP=NP+1                                               00001530
IF((NT.EQ.1.OR.NP.EQ.IVP10).AND.IVP5.EQ.1) CALL PRINTT(3) 00001540
IF((NT.EQ.1.OR.NP.EQ.IVP10).AND.IVP6.EQ.1) CALL PRINTT(2) 00001550
IF((NT.EQ.1.OR.NP.EQ.IVP10).AND.IVP7.EQ.1) CALL PRINTT(1) 00001560
IF((NT.EQ.1.OR.NP.EQ.IVP10).AND.IVP8.EQ.1) CALL PLOTTA(XX,YY,IA) 00001570
IF(NP.EQ.IVP10) NP=0                                  00001580
C                                                       00001590
C VERIFICACAO DA CONVERGENCIA DOS VALORES DAS GRANDEZAS CALCULADAS PARA 00001600
C O TIME STEP N+1.                                   00001610
C                                                       00001620
CALL ICONV(2)                                         00001630
IF(JVC.EQ.0) STOP                                    00001640
C                                                       00001650
C NAO HOUVE CONVERGENCIA.VERIFICACAO DO NUMERO DE INTERVALOS DE TEMPO 00001660
C REALIZADO.                                          00001670
C                                                       00001680
IF(NT.GE.NN) STOP                                    00001690
C                                                       00001700
C O NUMERO DE INTERVALOS DE TEMPO REALIZADO E INFERIOR AO LIMITE MAXIMO 00001710
C PERMISSIVEL.TRANSFERENCIA DOS VALORES DAS GRANDEZAS CALCULADAS EM N+1 00001720
C PARA N E M+1.                                      00001730
C                                                       00001740
CALL TRANSF(2)                                        00001750
C                                                       00001760
C O PROCESSAMENTO DE DADOS RETORNA PARA CALCULAR OS NOVOS VALORES DA    00001770
C PRESSAO PARA O TIME STEP N+1.                      00001780
C                                                       00001790
MT=0                                                  00001800
GO TO 100                                             00001810
END                                                   00001820
SUBROUTINE READD                                     00001830
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                             00001840
COMMON /b1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00001850
PARE,VM
COMMON /b2/ CIA,C1UG,C1UL,C1VG,C1VL,CHIA,CHIUG,CHIUL,CH1VG,CH1VL 00001860

```

```

COMMON /B3/ PPO ,PPR ,AO ,AR ,CCVIGO,CCVIGR, 00001880
2 CCVILO,CCVILR,CCAJ ,CCUJG ,CCUJL 00001890
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00001900
COMMON /C2/ IVP1 ,IVP2 ,IVP3 ,IVP4 ,IVP5 ,IVP6 ,IVP7 ,IVP8 ,IVP9 , 00001910
2 IVP10,IVP11,IVP12,IVP13 00001920
C 00001930
C LEITURA DOS DADOS DE ENTRADA. 00001940
C 00001950
READ(5,5000)IVP1,IVP2,IVP3,IVP4,IVP5,IVP6,IVP7,IVP8,IVP9 00001960
5000 FORMAT(9(4X,I1)) 00001970
READ(5,5100)IVP10,IVP11,IVP12,IVP13 00001980
5100 FORMAT(4(1X,I4)) 00001990
READ(5,5200)I1,J1,NN,MM,NMM 00002000
5200 FORMAT(5(1X,I4)) 00002010
READ(5,5300)RR,ZZ,DG,DL,GZ, 00002020
2 VG,VL,CD,RD,VINF, 00002030
3 DT,PCS1,PCS2,PAKE,VM, 00002040
4 CIA,CIUG,CIUL,CIVG,CIVL, 00002050
5 CHIA,CHIUG,CHIUL,CHIVG,CHIVL, 00002060
6 PPO,PPK,AO,AR, 00002070
7 CCVIGO,CCVIGR,CCVILO,CCVILR, 00002080
8 CCAJ,CCUJG,CCUJL 00002090
5300 FORMAT(5D12.5/5D12.5/5D12.5/5D12.5/5D12.5/4D12.5/4D12.5/3D12.5) 00002100
RETURN 00002110
END 00002120
SUBROUTINE RAIC 00002130
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00002140
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17) 00002150
COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00002160
2 PARE,VM 00002170
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00002180
A11=FLOAT(I1) 00002190
AJ1=FLOAT(J1) 00002200
C 00002210
C CALCULO DOS RAIOS NOS PONTOS I-1/2,I E I+1/2. 00002220
C 00002230
DR=RR/A11 00002240
DZ=ZZ/AJ1 00002250
DO 10 I=2,I11 00002260
IE1=I-2 00002270
AIE1=FLOAT(IE1) 00002280
R(I)=DR/2.+AIE1*DR 00002290
RE2(I)=R(I)-DR/2. 00002300
RA2(I)=R(I)+DR/2. 00002310
10 CONTINUE 00002320
R(I)=R(2) 00002330
RE2(I)=RA2(2) 00002340
RA2(I)=RE2(2) 00002350
RETURN 00002360
END 00002370
SUBROUTINE FCICI 00002380
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00002390
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00002400
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00002410
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00002420
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00002430
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00002440
COMMON /B2/ CIA,CIUG,CIUL,CIVG,CIVL,CHIA,CHIUG,CHIUL,CHIVG,CHIVL 00002450
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00002460
C 00002470
C FIXACAO DA CONDICAO E DA ESTIMATIVA INICIAIS DA FRACAO DE VAZIO. 00002480
C 00002490

```

```

DU 10 J=2, JJ                                00002500
DU 10 I=2, II                                00002510
A1(I,J)=CIA                                  00002520
A3(I,J)=CHIA                                 00002530
10 CONTINUE                                  00002540
C                                              00002550
C FIXACAO DA CONDICAO E DA ESTIMATIVA INICIAIS DAS VELOCIDADES RADIAL
C E AXIAL DO VAPOR E DO LIQUIDO.             00002560
C                                              00002570
C                                              00002580
DU 20 J=2, JJ                                00002590
DU 20 I=2, II                                00002600
U1G(I,J)=CIUG                                00002610
U1L(I,J)=CIUL                                00002620
U3G(I,J)=CHIUG                               00002630
U3L(I,J)=CHIUL                               00002640
20 CONTINUE                                  00002650
DU 30 J=2, JJ                                00002660
DU 30 I=2, II                                00002670
V1G(I,J)=CIVG                                00002680
V1L(I,J)=CIVL                                00002690
V3G(I,J)=CHIVG                               00002700
V3L(I,J)=CHIVL                               00002710
30 CONTINUE                                  00002720
RETURN                                        00002730
END                                            00002740
SUBROUTINE BOUND                              00002750
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                    00002760
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00002770
COMMON /A2/ U1G(17,17), U2G(17,17), U3G(17,17), U4G(17,17) 00002780
COMMON /A3/ U1L(17,17), U2L(17,17), U3L(17,17), U4L(17,17) 00002790
COMMON /A4/ V1G(17,17), V2G(17,17), V3G(17,17), V4G(17,17) 00002800
COMMON /A5/ V1L(17,17), V2L(17,17), V3L(17,17), V4L(17,17) 00002810
COMMON /A6/ XMAT(289,289), PP(17,17), SR(17,17), VLD(289), P1(289), 00002820
2 P2(289), P(289)                             00002830
COMMON /A7/ RE2(17), R(17), RA2(17)          00002840
COMMON /B1/ RR, ZZ, DR, DL, DG, DL, GZ, VG, VL, CD, RD, VINFL, DT, PCS1, PCS2, 00002850
2 PARE, VM                                     00002860
COMMON /B3/ PPO, PPR, AO, AR, CCVIGO, CCVIGR, 00002870
1 CCVILO, CCVILR, CCAJ, CCUJG, CCUJL         00002880
COMMON /C1/ I1, I1, I11, J1, JJ, JJ1, IJ1, NN, MM, NMM 00002890
C                                              00002900
C FIXACAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO DA FRACAO DE VAZIO, NA ENTRADA E PA- 00002910
C REDE DO DUTO, PARA OS TIME STEPS N, N+1/2 E N+1. 00002920
C                                              00002930
DO 10 I=2, II                                00002940
A1(I,1)=AO+((AR-AO)/RR)*RII                 00002950
A2(I,1)=A1(I,1)                             00002960
A3(I,1)=A1(I,1)                             00002970
A4(I,1)=A1(I,1)                             00002980
10 CONTINUE                                  00002990
DO 20 J=1, JJ1                               00003000
A1(I11,J)=CCAJ                              00003010
A2(I11,J)=CCAJ                              00003020
A3(I11,J)=CCAJ                              00003030
A4(I11,J)=CCAJ                              00003040
20 CONTINUE                                  00003050
C                                              00003060
C FIXACAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO DAS VELOCIDADES RADIAL E AXIAL DO 00003070
C VAPOR E DO LIQUIDO, NA PAREDE E ENTRADA DO DUTO, RESPECTIVAMENTE, PARA 00003080
C OS TIME STEPS N, N+1/2 E N+1.             00003090
C                                              00003100
DO 30 J=1, JJ1                               00003110

```

```

U1G(I1,J)=CCUJG                                00003120
U1L(I1,J)=CCUJL                                00003130
U2G(I1,J)=CCUJG                                00003140
U2L(I1,J)=CCUJL                                00003150
U3G(I1,J)=CCUJG                                00003160
U3L(I1,J)=CCUJL                                00003170
U4G(I1,J)=CCUJG                                00003180
U4L(I1,J)=CCUJL                                00003190
30 CONTINUE                                     00003200
DO 40 I=2,I1                                    00003210
V1G(I,1)=CCVIGO+((CCVIGR-CCVIGO)/RR)*R(I)      00003220
V1L(I,1)=CCVILO+((CCVILR-CCVILO)/RR)*R(I)      00003230
V2G(I,1)=V1G(I,1)                              00003240
V2L(I,1)=V1L(I,1)                              00003250
V3G(I,1)=V1G(I,1)                              00003260
V3L(I,1)=V1L(I,1)                              00003270
V4G(I,1)=V1G(I,1)                              00003280
V4L(I,1)=V1L(I,1)                              00003290
40 CONTINUE                                     00003300
C                                               00003310
C FIXACAO DA CONDICAO DE CCNTORNO DA PRESSAO NA ENTRADA DO DUTO. 00003320
C                                               00003330
DO 50 I=2,I1                                    00003340
PP(I,1)=PPO+((PPK-PPO)/RR)*R(I)                00003350
50 CONTINUE                                     00003360
RETURN                                           00003370
END                                               00003380
SUBROUTINE NTRASH                                00003390
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                        00003400
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00003410
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00003420
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00003430
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00003440
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00003450
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),PI(289), 00003460
2 P2(289),P(289)                                00003470
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00003480
C                                               00003490
C FIXACAO DO VALOR ZERO EM ALGUNS TRECHOS DE VETORES PARA EVITAR-SE CDLE00003500
C TA DE LIXO.                                    00003510
C                                               00003520
C 1 - PRIMEIRO NIVEL RADIAL.                    00003530
C 1A - PRESSAO.                                 00003540
C 1B - FRACAO DE VAZIO.                        00003550
C 1C - VELOCIDADE AXIAL DO VAPOR E DO LIQUIDO. 00003560
C                                               00003570
DO 10 J=1,JJ1                                    00003580
PP(1,J)=0.                                       00003590
A1(1,J)=0.                                       00003600
A2(1,J)=0.                                       00003610
A3(1,J)=0.                                       00003620
A4(1,J)=0.                                       00003630
V1G(1,J)=0.                                       00003640
V1L(1,J)=0.                                       00003650
V2G(1,J)=0.                                       00003660
V2L(1,J)=0.                                       00003670
V3G(1,J)=0.                                       00003680
V3L(1,J)=0.                                       00003690
V4G(1,J)=0.                                       00003700
V4L(1,J)=0.                                       00003710
U1G(1,J)=0.                                       00003720
U1L(1,J)=0.                                       00003730

```

U2G(I,J)=C.	00003740
U2L(I,J)=0.	00003750
U3G(I,J)=0.	00003760
U3L(I,J)=0.	00003770
U4G(I,J)=0.	00003780
U4L(I,J)=0.	00003790
10 CONTINUE	00003800
C	00003810
C 2 - ULTIMO NIVEL RADIAL.	00003820
C	00003830
C 2A - PRESSAO.	00003840
C 2B - VELOCIDADE RADIAL E AXIAL DO VAPOR E DO LIQUIDO.	00003850
C	00003860
DO 20 J=1,JJ1	00003870
PP(I11,J)=0.	00003880
U1G(I11,J)=0.	00003890
U1L(I11,J)=0.	00003900
U2L(I11,J)=0.	00003910
U3G(I11,J)=0.	00003920
U3L(I11,J)=0.	00003930
U4G(I11,J)=0.	00003940
U4L(I11,J)=0.	00003950
V1G(I11,J)=0.	00003960
V1L(I11,J)=0.	00003970
V2G(I11,J)=0.	00003980
V2L(I11,J)=0.	00003990
V3G(I11,J)=0.	00004000
V3L(I11,J)=0.	00004010
V4G(I11,J)=0.	00004020
V4L(I11,J)=0.	00004030
20 CONTINUE	00004040
C	00004050
C 3 - PRIMEIRO NIVEL AXIAL.	00004060
C	00004070
C 3A - VELOCIDADE RADIAL DO VAPOR E DO LIQUIDO.	00004080
C	00004090
DO 30 I=1,II	00004100
U1G(I,1)=0.	00004110
U1L(I,1)=0.	00004120
U2G(I,1)=0.	00004130
U2L(I,1)=0.	00004140
U3G(I,1)=0.	00004150
U3L(I,1)=0.	00004160
U4G(I,1)=0.	00004170
U4L(I,1)=0.	00004180
30 CONTINUE	00004190
C	00004200
C 4 - ULTIMO NIVEL AXIAL.	00004210
C	00004220
C 4A - PRESSAO.	00004230
C 4B - FRACAO DE VAZIO.	00004240
C 4C - VELOCIDADE RADIAL E AXIAL DO VAPOR E DO LIQUIDO.	00004250
C	00004260
DO 40 I=1,II	00004270
PP(I,JJ1)=0.	00004280
A1(I,JJ1)=0.	00004290
A2(I,JJ1)=0.	00004300
A3(I,JJ1)=0.	00004310
A4(I,JJ1)=0.	00004320
U1G(I,JJ1)=0.	00004330
U1L(I,JJ1)=0.	00004340
U2G(I,JJ1)=0.	00004350

```

U2L(I,JJ1)=0. 00004360
U3G(I,JJ1)=0. 00004370
U3L(I,JJ1)=0. 00004380
U4G(I,JJ1)=0. 00004390
U4L(I,JJ1)=0. 00004400
V1G(I,JJ1)=0. 00004410
V1L(I,JJ1)=0. 00004420
V2G(I,JJ1)=0. 00004430
V2L(I,JJ1)=0. 00004440
V3G(I,JJ1)=0. 00004450
V3L(I,JJ1)=0. 00004460
V4G(I,JJ1)=0. 00004470
V4L(I,JJ1)=0. 00004480
40 CONTINUE 00004490
RETURN 00004500
END 00004510
SUBROUTINE PENTA 00004520
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00004530
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00004540
2 P2(289),P1(289) 00004550
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17) 00004560
COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00004570
2 PARE,VM 00004580
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00004590
C 00004600
C CALCULO DOS ELEMENTOS E MONTAGEM DA MATRIZ PENTADIAGONAL DOS COEFICI- 00004610
C ENTES DA EQUACAO DA PRESSAO. 00004620
C 00004630
CJM=1./DZ**2 00004640
CJP=1./DZ**2 00004650
K=1 00004660
L=2 00004670
DO 160 I=1,IJ1 00004680
K=K+1 00004690
DO 150 J=1,IJ1 00004700
IF(I.NE.J) GO TO 100 00004710
IF(L.NE.2) GO TO 30 00004720
IF(K.NE.2) GO TO 10 00004730
CC=RE2(K)/(DR**2*R(K)) 00004740
GO TO 90 00004750
10 IF(K.NE.I1) GO TO 20 00004760
CC=RA2(K)/(DR**2*R(K)) 00004770
GO TO 90 00004780
20 CC=0. 00004790
GO TO 90 00004800
30 IF(L.NE.JJ) GO TO 60 00004810
IF(K.NE.2) GO TO 40 00004820
CC=RE2(K)/(DR**2*R(K))+1./DZ**2 00004830
GO TO 90 00004840
40 IF(K.NE.I1) GO TO 50 00004850
CL=RA2(K)/(DR**2*R(K))+1./DZ**2 00004860
GO TO 90 00004870
50 CC=1./DZ**2 00004880
GO TO 90 00004890
60 IF(K.NE.2) GO TO 70 00004900
CC=RE2(K)/(DR**2*R(K)) 00004910
GO TO 90 00004920
70 IF(K.NE.I1) GO TO 80 00004930
CC=RA2(K)/(DR**2*R(K)) 00004940
GO TO 90 00004950
80 CC=0. 00004960
90 D=-1*RA2(K)+RE2(K)/(DR**2*R(K))-2./DZ**2 00004970

```

```

XMAT(I,J)=D+CC                                00004980
GO TO 150                                       00004990
100 IF(I-J+1.NE.0) GO TO 110                   00005000
IF(K.EQ. 1) GO TO 140                          00005010
CIP=RAZ(K)/(DR**2*R(K))                        00005020
XMAT(I,J)=CIP                                  00005030
GO TO 150                                       00005040
110 IF(I-J-1.NE.0) GO TO 120                   00005050
IF(K.EQ. 2) GO TO 140                          00005060
CIM=REZ(K)/(DR**2*R(K))                        00005070
XMAT(I,J)=CIM                                  00005080
GO TO 150                                       00005090
120 IF(I-J+1.NE.0) GO TO 130                   00005100
XMAT(I,J)=CJP                                  00005110
GO TO 150                                       00005120
130 IF(I-J-1.NE.0) GO TO 140                   00005130
XMAT(I,J)=CJM                                  00005140
GO TO 150                                       00005150
140 XMAT(I,J)=0.                               00005160
150 CONTINUE                                    00005170
IF(K.NE.1) GO TO 160                          00005180
K=1                                             00005190
L=L+1                                          00005200
160 CONTINUE                                    00005210
RETURN                                         00005220
END                                             00005230
SUBROUTINE PRESS                               00005240
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                      00005250
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00005260
2 P2(289),P(289)                               00005270
COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00005280
2 PARE,VM                                       00005290
COMMON /C1/ I1,I11,I111,J1,J11,J111,IJ1,NN,MM,NMM 00005300
COMMON /C3/ IVC,JVC,NT,MT                      00005310
C                                               00005320
C CALCULO DA PRESSAO PARA SER USADA NO TIME STEP N+1. 00005330
C                                               00005340
DO 20 I=1,IJ1                                  00005350
PAUX=0.                                         00005360
DO 10 J=1,IJ1                                  00005370
PAUX=PAUX+XMAT(I,J)*VLD(J)                    00005380
10 CONTINUE                                    00005390
P2(I)=PAUX                                     00005400
IF(INT.EQ.0) P1(I)=P2(I)                       00005410
P(I)=PARE*P2(I)+(1.-PARE)*P1(I)               00005420
P1(I)=P(I)                                     00005430
20 CONTINUE                                    00005440
C                                               00005450
C TRANSFORMACAO DO VETOR COLUNA DA PRESSAO EM UMA MATRIZ. 00005460
C                                               00005470
K=0                                             00005480
DO 30 J=2,JJ                                   00005490
DO 30 I=2,I1                                   00005500
K=K+1                                          00005510
PP(I,J)=P(K)                                   00005520
IF(I.EQ. 2) CALL FVPLB(I,J)                    00005530
IF(I.EQ.1) CALL FVPRB(I,J)                    00005540
IF(J.EQ. JJ) CALL FVPU6(I,J)                   00005550
30 CONTINUE                                    00005560
RETURN                                         00005570
END                                             00005580
SUBROUTINE FVPLB(I,J)                           00005590

```

```

      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289),
2          P2(289),P(289)
C
C FIXACAO DO VALOR DE CONTORNO, APENAS PARA IMPRESSAO, DA GRANDEZA PRESSAO
C NO PRIMEIRO NIVEL RADIAL.
C
      PP(I-1,J)=PP(I,J)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE FVPRB(I,J)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
      COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
      COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)
      COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)
      COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)
      COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289),
2          P2(289),P(289)
      COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)
      COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2,
2          PAKE,VM
      AA1NJ=0.5*(A1(I,J)+A1(I+1,J))
      TP1=RA2(I+1)/R(I+1)*U1G(I-1,J)
      TP2=RE2(I)/R(I)*U1G(I-1,J)
      TP3=RA2(I+1)/R(I+1)*U1L(I-1,J)
      TP4=RE2(I)/R(I)*U1L(I-1,J)
      PP(I+1,J)=PP(I,J)+VL/DR*(AA1NJ*(TP1+TP2)+(1.-AA1NJ)*(TP3+TP4))
      RETURN
      END
      SUBROUTINE FVPUB(I,J)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
      COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
      COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)
      COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)
      COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)
      COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289),
2          P2(289),P(289)
      COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2,
2          PARE,VM
      COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,J1,J11,I11,I11,NN,MM,NMM
C
C FIXACAO DO VALOR DE CONTORNO, APENAS PARA IMPRESSAO, DA GRANDEZA PRESSAO
C NO ULTIMO NIVEL AXIAL.
C
      UGE1A1= U1G(I-1,J)
      ULE1A1= U1L(I-1,J)
      UGA1A1= U1G(I,J)
      ULA1A1= U1L(I,J)
      UGNIA1= 0.5*(UGE1A1+UGA1A1)
      ULNIA1= 0.5*(ULE1A1+ULA1A1)
      ANIA1 = A1(I,J)
      VGE1A1=V1G(I,J)
      VLE1A1=V1L(I,J)
      VGA1A1=0.
      VLA1A1=0.
      IF(I.GT. 2) VGE1A1= 0.5*(V1G(I-1,J)+V1G(I,J))
      IF(I.GT. 2) VLE1A1= 0.5*(V1L(I-1,J)+V1L(I,J))
      IF(I.LT.11) VGA1A1= 0.5*(V1G(I,J)+V1G(I+1,J))
      IF(I.LT.11) VLA1A1= 0.5*(V1L(I,J)+V1L(I+1,J))
      IP6= ANIA1 *CG*UGNIA1*(VGA1A1-VGE1A1)/DR

```



```

JVL=0. 00006640
C 00006850
C COMPARACAO DO VALOR DA GRANDEZA FRACAO DE VAZIO ENTRE OS TIME STEPS 00006860
C N E N+1. 00006870
C 00006880
C DO 10 J=2,JJ 00006890
DO 10 I=2,II 00006900
IF(DABS((A4(I,J)-A1(I,J))/A4(I,J)).LE.PCS2) GO TO 10 00006910
JAA=JAA+1 00006920
10 CONTINUE 00006930
C 00006940
C COMPARACAO DO VALOR DA GRANDEZA VELOCIDADE RADIAL DO VAPOR E DO LIQUI-00006950
C DO ENTRE OS TIME STEPS N E N+1. 00006960
C 00006970
C DO 30 J=2,JJ 00006980
DO 30 I=2,II 00006990
IF(DABS((U4G(I,J)-U1G(I,J))/U4G(I,J)).LE.PCS2) GO TO 20 00007000
JUG=JUG+1 00007010
20 IF(DABS((U4L(I,J)-U1L(I,J))/U4L(I,J)).LE.PCS2) GO TO 30 00007020
JUL=JUL+1 00007030
30 CONTINUE 00007040
C 00007050
C COMPARACAO DO VALOR DA GRANDEZA VELOCIDADE AXIAL DO VAPOR E DO LIQUIDO 00007060
C ENTRE OS TIME STEPS N E N+1. 00007070
C 00007080
C DO 50 J=2,JJ 00007090
DO 50 I=2,II 00007100
IF(DABS((V4G(I,J)-V1G(I,J))/V4G(I,J)).LE.PCS2) GO TO 40 00007110
JVG=JVG+1 00007120
40 IF(DABS((V4L(I,J)-V1L(I,J))/V4L(I,J)).LE.PCS2) GO TO 50 00007130
JVL=JVL+1 00007140
50 CONTINUE 00007150
C 00007160
C VERIFICACAO DO NUMERO DE GRANDEZAS QUE CONVERGIRAM. 00007170
C 00007180
C JVC=JAA+JUG+JUL+JVG+JVL 00007190
RETURN 00007200
END 00007210
SUBROUTINE TCVH 00007220
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00007230
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00007240
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00007250
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00007260
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00007270
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00007280
COMMON /B1/ HR,ZZ,DR,DZ,OG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00007290
2 PARE,VM 00007300
COMMON /C1/ II,II,III,JI,JJ,JJI,IJI,NN,MM,NMM 00007310
COMMON /C3/ IVC,JVC,NT,MT 00007320
IAA=0. 00007330
IUG=0. 00007340
IUL=0. 00007350
IVG=0. 00007360
IVL=0. 00007370
C 00007380
C COMPARACAO DO VALOR DA GRANDEZA FRACAO DE VAZIO ENTRE AS ITERACOES 00007390
C M E M+1. 00007400
C 00007410
C DO 10 J=2,JJ 00007420
DO 10 I=2,II 00007430
IF(DABS((A4(I,J)-A3(I,J))/A4(I,J)).LE.PCS1) GO TO 10 00007440
IAA=IAA+1 00007450

```

```

10 CONTINUE                                00007460
C                                             00007470
C COMPARACAO DO VALOR DA GRANDEZA VELOCIDADE RADIAL DO VAPOR E DO LIQJ1 00007480
C DO ENTRE AS ITERACCES M E M+1.          00007490
C                                             00007500
      DO 30 J=2,JJ                          00007510
      DO 30 I=2,II                          00007520
      IF(DABS((U4G(I,J)-U3G(I,J))/U4G(I,J)).LE.PCS1) GO TO 20 00007530
      IUG=IUG+1                             00007540
20 IF(DABS((U4L(I,J)-U3L(I,J))/U4L(I,J)).LE.PCS1) GO TO 30 00007550
      IUL=IUL+1                             00007560
30 CONTINUE                                00007570
C                                             00007580
C COMPARACAO DO VALOR DA GRANDEZA VELOCIDADE AXIAL DO VAPOR E DO LIQUIDO 00007590
C ENTRE AS ITERACOES M E M+1.            00007600
C                                             00007610
      DO 50 J=2,JJ                          00007620
      DO 50 I=2,II                          00007630
      IF(DABS((V4G(I,J)-V3G(I,J))/V4G(I,J)).LE.PCS1) GO TO 40 00007640
      IVG=IVG+1                             00007650
40 IF(DABS((V4L(I,J)-V3L(I,J))/V4L(I,J)).LE.PCS1) GO TO 50 00007660
      IVL=IVL+1                             00007670
50 CONTINUE                                00007680
C                                             00007690
C VERIFICACAO DO NUMERO DE GRANDEZAS QUE CONVERGIRAM. 00007700
C                                             00007710
      IVC=IAA+IUG+IUL+IVG+IVL              00007720
      RETURN                                00007730
      END                                  00007740
      SUBROUTINE TRANSF(IVS)                 00007750
      IF(IVS-EQ-1) GO TO 10                 00007760
      CALL TRFN                              00007770
      RETURN                                00007780
10 CALL TRFN                               00007790
      RETURN                                00007800
      END                                  00007810
      SUBROUTINE TRFN                       00007820
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)              00007830
      COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00007840
      COMMON /A2/ U1G(17,17), U2G(17,17), U3G(17,17), U4G(17,17) 00007850
      COMMON /A3/ U1L(17,17), U2L(17,17), U3L(17,17), U4L(17,17) 00007860
      COMMON /A4/ V1G(17,17), V2G(17,17), V3G(17,17), V4G(17,17) 00007870
      COMMON /A5/ V1L(17,17), V2L(17,17), V3L(17,17), V4L(17,17) 00007880
      COMMON /B1/ KR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00007890
      PARE,VM
2     COMMON /C1/ II,II,III,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00007900
C                                             00007910
C TRANSFERENCIA DO VALOR DA GRANDEZA FRACAO DE VAZIO DE N PARA N+1 E M. 00007920
C                                             00007930
C                                             00007940
      DO 10 J=2,JJ                          00007950
      DO 10 I=2,II                          00007960
      A1(I,J)=A4(I,J)                       00007970
      A3(I,J)=A4(I,J)*VM                    00007980
10 CONTINUE                                00007990
C                                             00008000
C TRANSFERENCIA DO VALOR DA GRANDEZA VELOCIDADE RADIAL DO VAPOR E DO 00008010
C LIQUIDO DE N PARA N+1 E M.              00008020
C                                             00008030
      DO 20 J=2,JJ                          00008040
      DO 20 I=2,II                          00008050
      U1G(I,J)=U4G(I,J)                     00008060
      U1L(I,J)=U4L(I,J)                     00008070

```

```

      U3G(I,J)=U4G(I,J)*VM
      U3L(I,J)=U4L(I,J)*VM
20 CONTINUE
C
C TRANSFERENCIA DO VALOR DA GRANDEZA VELOCIDADE AXIAL DO VAPOR E DO
C LIQUIDO DE N PARA N+1 E M.
C
      DO 30 J=2, JJ
      DO 30 I=2, II
      V1G(I,J)=V4G(I,J)
      V1L(I,J)=V4L(I,J)
      V3G(I,J)=V4G(I,J)*VM
      V3L(I,J)=V4L(I,J)*VM
30 CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE TRFM
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
      COMMON /A2/ U1G(17,17), U2G(17,17), U3G(17,17), U4G(17,17)
      COMMON /A3/ U1L(17,17), U2L(17,17), U3L(17,17), U4L(17,17)
      COMMON /A4/ V1G(17,17), V2G(17,17), V3G(17,17), V4G(17,17)
      COMMON /A5/ V1L(17,17), V2L(17,17), V3L(17,17), V4L(17,17)
      COMMON /C1/ I1, I1, I11, J1, JJ, JJ1, IJ1, NN, MM, NMM
C
C TRANSFERENCIA DO VALOR DA GRANDEZA FRACAO DE VAZIO DA ITERACAO M+1
C PARA M.
C
      DO 10 J=2, JJ
      DO 10 I=2, II
      A3(I,J)=A4(I,J)
10 CONTINUE
C
C TRANSFERENCIA DO VALOR DA GRANDEZA VELOCIDADE RADIAL DO VAPOR E DO
C LIQUIDO DA ITERACAO M+1 PARA M.
C
      DO 20 J=2, JJ
      DO 20 I=2, II
      U3G(I,J)=U4G(I,J)
      U3L(I,J)=U4L(I,J)
20 CONTINUE
C
C TRANSFERENCIA DO VALOR DA GRANDEZA VELOCIDADE AXIAL DO VAPOR E DO
C LIQUIDO DA ITERACAO M+1 PARA M.
C
      DO 30 J=2, JJ
      DO 30 I=2, II
      V3G(I,J)=V4G(I,J)
      V3L(I,J)=V4L(I,J)
30 CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE FIXV(IVS)
      COMMON /C1/ I1, I1, I11, J1, JJ, JJ1, IJ1, NN, MM, NMM
C
C FIXACAO DO VALOR DAS VARIAVEIS PARA MONTAGEM DA MATRIZ, LADO DIREITO, DA
C EQUACAO DA PRESSAO E RESOLUCAO DAS EQUACOES NAU LINEARES.
C
      K=0
      DO 80 N=1, J1
      I=0
      J=N+1

```

```

00008080
00008090
00008100
00008110
00008120
00008130
00008140
00008150
00008160
00008170
00008180
00008190
00008200
00008210
00008220
00008230
00008240
00008250
00008260
00008270
00008280
00008290
00008300
00008310
00008320
00008330
00008340
00008350
00008360
00008370
00008380
00008390
00008400
00008410
00008420
00008430
00008440
00008450
00008460
00008470
00008480
00008490
00008500
00008510
00008520
00008530
00008540
00008550
00008560
00008570
00008580
00008590
00008600
00008610
00008620
00008630
00008640
00008650
00008660
00008670
00008680
00008690

```

FIXV (17, 17) OK

DU 80 M=1,I1	00008700
K=K+1	00008710
L=M+1	00008720
CALL FVMM(I,J,IVS)	00008730
IF(J.GT. 2) GO TO 10	00008740
CALL FVBB(I,J,IVS)	00008750
CALL FVUM(I,J,IVS)	00008760
GO TO 30	00008770
10 IF(I.LT.IJ) GO TO 20	00008780
CALL FVBM(I,J,IVS)	00008790
CALL FVUB(I,J,IVS)	00008800
GO TO 30	00008810
20 CALL FVBM(I,J,IVS)	00008820
CALL FVUM(I,J,IVS)	00008830
30 IF(I.GT. 2) GO TO 40	00008840
CALL FVLBI(I,J,IVS)	00008850
CALL FVRM(I,J,IVS)	00008860
GO TO 60	00008870
40 IF(I.LT.II) GO TO 50	00008880
CALL FVLM(I,J,IVS)	00008890
CALL FVRB(I,J,IVS)	00008900
GO TO 60	00008910
50 CALL FVLM(I,J,IVS)	00008920
CALL FVRM(I,J,IVS)	00008930
60 IF(IVS.EQ.2) GO TO 70	00008940
CALL BPRS(I,J,TBPF)	00008950
CALL PRS(I,J,M,N,K,TBPF)	00008960
GO TO 80	00008970
70 CALL ENL(I,J)	00008980
IF(I.EQ. 2) CALL FVCLB(I,J)	00008990
IF(I.EQ.II) CALL FVCRB(I,J)	00009000
IF(J.EQ.IJ) CALL FVCUB(I,J)	00009010
80 CONTINUE	00009020
RETURN	00009030
END	00009040
SUBROUTINE FVLBI(I,J,IVS)	00009050
IF(IVS.EQ.1) GO TO 10	00009060
CALL FVLBI2(I,J)	00009070
RETURN	00009080
10 CALL FVLBI(I,J)	00009090
RETURN	00009100
END	00009110
SUBROUTINE FVLM(I,J,IVS)	00009120
IF(IVS.EQ.1) GO TO 10	00009130
CALL FVLM2(I,J)	00009140
RETURN	00009150
10 CALL FVLM1(I,J)	00009160
RETURN	00009170
END	00009180
SUBROUTINE FVRB(I,J,IVS)	00009190
IF(IVS.EQ.1) GO TO 10	00009200
CALL FVRB2(I,J)	00009210
RETURN	00009220
10 CALL FVRB1(I,J)	00009230
RETURN	00009240
END	00009250
SUBROUTINE FVRM(I,J,IVS)	00009260
IF(IVS.EQ.1) GO TO 10	00009270
CALL FVRM2(I,J)	00009280
RETURN	00009290
10 CALL FVRM1(I,J)	00009300
RETURN	00009310

```

END
SUBROUTINE FVBB1(I,J,IVS)
IF(IVS.EQ.1) GO TO 10
CALL FVBB2(I,J)
RETURN
10 CALL FVBB1(I,J)
RETURN
END
SUBROUTINE FVBM(I,J,IVS)
IF(IVS.EQ.1) GO TO 10
CALL FVBM2(I,J)
RETURN
10 CALL FVBM1(I,J)
RETURN
END
SUBROUTINE FVUB(I,J,IVS)
IF(IVS.EQ.1) GO TO 10
CALL FVUB2(I,J)
RETURN
10 CALL FVUB1(I,J)
RETURN
END
SUBROUTINE FVUM(I,J,IVS)
IF(IVS.EQ.1) GO TO 10
CALL FVUM2(I,J)
RETURN
10 CALL FVUM1(I,J)
RETURN
END
SUBROUTINE FVMM(I,J,IVS)
IF(IVS.EQ.1) GO TO 10
CALL FVMM2(I,J)
RETURN
10 CALL FVMM1(I,J)
RETURN
END
SUBROUTINE FVLB1(I,J)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)
COMMON /D1/ UGE3NJ,ULE3NJ,UGE2NJ,ULE2NJ,VGE2E1,VLE2E1,
2 VGE2A1,VLE2A1,VGE1E1,VLE1E1,VGE1NJ,VLE1NJ,
3 VGE1A1,VLE1A1,AE1NJ,RE3,RE1
UGE3NJ= U1G(I,J)
ULE3NJ= U1L(I,J)
UGE2NJ= U1G(I,J)
ULE2NJ= U1L(I,J)
VGE2E1= V1G(I,J-1)
VLE2E1= V1L(I,J-1)
VGE2A1= V1G(I,J)
VLE2A1= V1L(I,J)
VGE1E1= V1G(I,J-1)
VLE1E1= V1L(I,J-1)
VGE1A1= V1G(I,J)
VLE1A1= V1L(I,J)
VGE1NJ= 0.5*(VGE1E1+VGE1A1)
VLE1NJ= 0.5*(VLE1E1+VLE1A1)
AE1NJ = A1(I,J)

```

```

00009320
00009330
00009340
00009350
00009360
00009370
00009380
00009390
00009400
00009410
00009420
00009430
00009440
00009450
00009460
00009470
00009480
00009490
00009500
00009510
00009520
00009530
00009540
00009550
00009560
00009570
00009580
00009590
00009600
00009610
00009620
00009630
00009640
00009650
00009660
00009670
00009680
00009690
00009700
00009710
00009720
00009730
00009740
00009750
00009760
00009770
00009780
00009790
00009800
00009810
00009820
00009830
00009840
00009850
00009860
00009870
00009880
00009890
00009900
00009910
00009920
00009930

```

```

RE3 = RA2(I)
RE1 = R(I)
RETURN
END
SUBROUTINE FVLB2(I,J)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)
COMMON /D1/ UGE3NJ,ULE3NJ,UGE2NJ,ULE2NJ,VGE2E1,VLE2E1,
2 VGE2A1,VLE2A1,VGE1E1,VLE1E1,VGE1NJ,VLE1NJ,
3 VGE1A1,VLE1A1,AE1NJ ,RE3 ,RE1
UGE3NJ= U2G(I,J)
ULE3NJ= U2L(I,J)
UGE2NJ= U2G(I,J)
ULE2NJ= U2L(I,J)
VGE2E1= V2G(I,J-1)
VLE2E1= V2L(I,J-1)
VGE2A1= V2G(I,J)
VLE2A1= V2L(I,J)
VGE1E1= V2G(I,J-1)
VLE1E1= V2L(I,J-1)
VGE1A1= V2G(I,J)
VLE1A1= V2L(I,J)
VGE1NJ= 0.5*(VGE1E1+VGE1A1)
VLE1NJ= 0.5*(VLE1E1+VLE1A1)
AE1NJ = A2(I,J)
RE3 = RA2(I)
RE1 = R(I)
RETURN
END
SUBROUTINE FVLM1(I,J)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)
COMMON /D1/ UGE3NJ,ULE3NJ,UGE2NJ,ULE2NJ,VGE2E1,VLE2E1,
2 VGE2A1,VLE2A1,VGE1E1,VLE1E1,VGE1NJ,VLE1NJ,
3 VGE1A1,VLE1A1,AE1NJ ,RE3 ,RE1
UGE3NJ= U1G(I-2,J)
ULE3NJ= U1L(I-2,J)
UGE2NJ= 0.5*(U1G(I-2,J)+U1G(I-1,J))
ULE2NJ= 0.5*(U1L(I-2,J)+U1L(I-1,J))
VGE2E1= V1G(I-1,J-1)
VLE2E1= V1L(I-1,J-1)
VGE2A1= V1G(I-1,J)
VLE2A1= V1L(I-1,J)
VGE1E1= 0.5*(V1G(I-1,J-1)+V1G(I,J-1))
VLE1E1= 0.5*(V1L(I-1,J-1)+V1L(I,J-1))
VGE1A1= 0.5*(V1G(I-1,J)+V1G(I,J))
VLE1A1= 0.5*(V1L(I-1,J)+V1L(I,J))
VGE1NJ= 0.5*(VGE1E1+VGE1A1)
VLE1NJ= 0.5*(VLE1E1+VLE1A1)
AE1NJ = 0.5*(A1(I-1,J)+A1(I,J))
RE3 = RE2(I-1)
RE1 = R(I-1)

```

```

00009940
00009950
00009960
00009970
00009980
00009990
00010000
00010010
00010020
00010030
00010040
00010050
00010060
00010070
00010080
00010090
00010100
00010110
00010120
00010130
00010140
00010150
00010160
00010170
00010180
00010190
00010200
00010210
00010220
00010230
00010240
00010250
00010260
00010270
00010280
00010290
00010300
00010310
00010320
00010330
00010340
00010350
00010360
00010370
00010380
00010390
00010400
00010410
00010420
00010430
00010440
00010450
00010460
00010470
00010480
00010490
00010500
00010510
00010520
00010530
00010540
00010550

```

```

RETURN                                00010560
END                                    00010570
SUBROUTINE FVLM2(I,J)                  00010580
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)              00010590
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00010600
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00010610
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00010620
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00010630
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00010640
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)     00010650
COMMON /D1/ UGE3NJ,ULE3NJ,UGE2NJ,ULE2NJ,VGE2E1,VLE2E1, 00010660
2     VGE2A1,VLE2A1,VGE1E1,VLE1E1,VGE1NJ,VLE1NJ, 00010670
3     VGE1A1,VLE1A1,AE1NJ ,RE3 ,RE1 00010680
UGE3NJ= U2G(I-2,J)                    00010690
ULE3NJ= U2L(I-2,J)                    00010700
UGE2NJ= 0.5*(U2G(I-2,J)+U2G(I-1,J)) 00010710
ULE2NJ= 0.5*(U2L(I-2,J)+U2L(I-1,J)) 00010720
VGE2E1= V2G(I-1,J-1)                  00010730
VLE2E1= V2L(I-1,J-1)                  00010740
VGE2A1= V2G(I-1,J)                    00010750
VLE2A1= V2L(I-1,J)                    00010760
VGE1E1= 0.5*(V2G(I-1,J-1)+V2G(I,J-1)) 00010770
VLE1E1= 0.5*(V2L(I-1,J-1)+V2L(I,J-1)) 00010780
VGE1A1= 0.5*(V2G(I-1,J)+V2G(I,J))     00010790
VLE1A1= 0.5*(V2L(I-1,J)+V2L(I,J))     00010800
VGE1NJ= 0.5*(VGE1E1+VGE1A1)           00010810
VLE1NJ= 0.5*(VLE1E1+VLE1A1)           00010820
AE1NJ = 0.5*(A2(I-1,J)+A2(I,J))       00010830
RE3   = RE2(I-1)                       00010840
RE1   = R(I-1)                          00010850
RETURN                                00010860
END                                    00010870
SUBROUTINE FVRB1(I,J)                  00010880
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)              00010890
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00010900
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00010910
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00010920
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00010930
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00010940
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00010950
2     P2(289),P(289)                    00010960
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)     00010970
COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,UG,DL,GZ,VG,VL,CO,RO,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00010980
2     PARE,VM                            00010990
COMMON /D2/ UGA2NJ,ULA2NJ,UGA3NJ,ULA3NJ,VGA2E1,VLA2E1, 00011000
2     VGA2A1,VLA2A1,VGA1E1,VLA1E1,VGA1NJ,VLA1NJ, 00011010
3     VGA1A1,VLA1A1,AA1NJ ,AA2NJ ,RA1 ,RA3 ,PA2NJ 00011020
UGA2NJ= 0.5*(U1G(I-1,J)+U1G(I,J))     00011030
ULA2NJ= 0.5*(U1L(I-1,J)+U1L(I,J))     00011040
UGA3NJ= U1G(I-1,J)                     00011050
ULA3NJ= U1L(I-1,J)                     00011060
VGA2E1=-V1G(I,J-1)                     00011070
VLA2E1=-V1L(I,J-1)                     00011080
VGA2A1=-V1G(I,J)                       00011090
VLA2A1=-V1L(I,J)                       00011100
VGA1E1= 0.                               00011110
VLA1E1= 0.                               00011120
VGA1NJ= 0.                               00011130
VLA1NJ= 0.                               00011140
VGA1A1= 0.                               00011150
VLA1A1= 0.                               00011160
AA1NJ = 0.5*(A1(I,J)+A1(I+1,J))       00011170

```

```

AA2NJ = A1(I+1,J)
PA2NJ = PP(I+1,J)
RA1 = R(I+1)
RA3 = RA2(I+1)
RETURN
END
SUBROUTINE FVRB2(I,J)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289),
2 P2(289),P(289)
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)
COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2,
2 PARE,VM
COMMON /D2/ UGA2NJ,ULA2NJ,UGA3NJ,ULA3NJ,VGA2E1,VLA2E1,
2 VGA2A1,VLA2A1,VGA1E1,VLA1E1,VGA1NJ,VLA1NJ,
3 VGA1A1,VLA1A1,AA1NJ,AA2NJ,RA1,RA3,PA2NJ
UGA2NJ= 0.5*(U2G(I-1,J)+U2G(I,J))
ULA2NJ= 0.5*(U2L(I-1,J)+U2L(I,J))
UGA3NJ= U2G(I-1,J)
ULA3NJ= U2L(I-1,J)
VGA2E1=-V2G(I,J-1)
VLA2E1=-V2L(I,J-1)
VGA2A1=-V2G(I,J)
VLA2A1=-V2L(I,J)
VGA1E1= 0.
VLA1E1= 0.
VGA1NJ= 0.
VLA1NJ= 0.
VGA1A1= 0.
VLA1A1= 0.
AA1NJ = 0.5*(A2(I,J)+A2(I+1,J))
AA2NJ = A2(I+1,J)
PA2NJ = PP(I+1,J)
RA1 = R(I+1)
RA3 = RA2(I+1)
RETURN
END
SUBROUTINE FVRM1(I,J)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289),
2 P2(289),P(289)
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)
COMMON /D2/ UGA2NJ,ULA2NJ,UGA3NJ,ULA3NJ,VGA2E1,VLA2E1,
2 VGA2A1,VLA2A1,VGA1E1,VLA1E1,VGA1NJ,VLA1NJ,
3 VGA1A1,VLA1A1,AA1NJ,AA2NJ,RA1,RA3,PA2NJ
UGA2NJ= 0.5*(U1G(I,J)+U1G(I+1,J))
ULA2NJ= 0.5*(U1L(I,J)+U1L(I+1,J))
UGA3NJ= U1G(I+1,J)
ULA3NJ= U1L(I+1,J)
VGA2E1= V1G(I+1,J-1)
VLA2E1= V1L(I+1,J-1)
VGA2A1= V1G(I+1,J)

```

```

00011180
00011190
00011200
00011210
00011220
00011230
00011240
00011250
00011260
00011270
00011280
00011290
00011300
00011310
00011320
00011330
00011340
00011350
00011360
00011370
00011380
00011390
00011400
00011410
00011420
00011430
00011440
00011450
00011460
00011470
00011480
00011490
00011500
00011510
00011520
00011530
00011540
00011550
00011560
00011570
00011580
00011590
00011600
00011610
00011620
00011630
00011640
00011650
00011660
00011670
00011680
00011690
00011700
00011710
00011720
00011730
00011740
00011750
00011760
00011770
00011780
00011790

```

```

VLA2A1= VIL(I+1,J)                                00011800
VGA1E1= 0.5*(VIG(I,J-1)+VIG(I+1,J-1))            00011810
VLA1E1= 0.5*(VIL(I,J-1)+VIL(I+1,J-1))            00011820
VGA1A1= 0.5*(VIG(I,J)+VIG(I+1,J))                00011830
VLA1A1= 0.5*(VIL(I,J)+VIL(I+1,J))                00011840
VGA1NJ= 0.5*(VGA1E1+VGA1A1)                      00011850
VLA1NJ= 0.5*(VLA1E1+VLA1A1)                      00011860
AA1NJ = 0.5*(A1(I,J)+A1(I+1,J))                  00011870
AA2NJ = A1(I+1,J)                                00011880
PA2NJ = PP(I+1,J)                                00011890
RA1 = R(I+1)                                     00011900
RA3 = RA2(I+1)                                   00011910
RETURN                                           00011920
END                                             00011930
SUBROUTINE FVRM2(I,J)                            00011940
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                        00011950
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00011960
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00011970
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00011980
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00011990
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00012000
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P(289), 00012010
2 P2(289),P(289)                                00012020
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)                00012030
COMMON /D2/ UGA2NJ,ULA2NJ,UGA3NJ,ULA3NJ,VGA2E1,VLA2E1, 00012040
2 VGA2A1,VLA2A1,VGA1E1,VLA1E1,VGA1NJ,VLA1NJ, 00012050
3 VGA1A1,VLA1A1,AA1NJ,AA2NJ,RA1,RA3,PA2NJ 00012060
UGA2NJ= 0.5*(U2G(I,J)+U2G(I+1,J))                00012070
ULA2NJ= 0.5*(U2L(I,J)+U2L(I+1,J))                00012080
UGA3NJ= U2G(I+1,J)                                00012090
ULA3NJ= U2L(I+1,J)                                00012100
VGA2E1= V2G(I+1,J-1)                              00012110
VLA2E1= V2L(I+1,J-1)                              00012120
VGA2A1= V2G(I+1,J)                                00012130
VLA2A1= V2L(I+1,J)                                00012140
VGA1E1= 0.5*(V2G(I,J-1)+V2G(I+1,J-1))            00012150
VLA1E1= 0.5*(V2L(I,J-1)+V2L(I+1,J-1))            00012160
VGA1A1= 0.5*(V2G(I,J)+V2G(I+1,J))                00012170
VLA1A1= 0.5*(V2L(I,J)+V2L(I+1,J))                00012180
VGA1NJ= 0.5*(VGA1E1+VGA1A1)                      00012190
VLA1NJ= 0.5*(VLA1E1+VLA1A1)                      00012200
AA1NJ = 0.5*(A2(I,J)+A2(I+1,J))                  00012210
AA2NJ = A2(I+1,J)                                00012220
PA2NJ = PP(I+1,J)                                00012230
RA1 = R(I+1)                                     00012240
RA3 = RA2(I+1)                                   00012250
RETURN                                           00012260
END                                             00012270
SUBROUTINE FVBB1(I,J)                            00012280
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                        00012290
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00012300
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00012310
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00012320
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00012330
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00012340
COMMON /D3/ UGE1E2,ULE1E2,UGA1E2,ULA1E2,UGE1E1,ULE1E1, 00012350
2 UGN1E1,ULN1E1,UGA1E1,ULA1E1,VGN1E2,VLN1E2, 00012360
3 VGN1E3,VLN1E3,AN1E1                            00012370
UGE1E2=-U1G(I-1,J)                                00012380
ULE1E2=-U1L(I-1,J)                                00012390
UGA1E2=-U1G(I,J)                                  00012400
ULA1E2=-U1L(I,J)                                  00012410

```

```

UGE1E1= 0. 00012420
ULE1E1= 0. 00012430
UGN1E1= 0. 00012440
ULN1E1= 0. 00012450
UGA1E1= 0. 00012460
ULA1E1= 0. 00012470
VGN1E3= V1G(I,J) 00012480
VLN1E3= V1L(I,J) 00012490
VGN1E2= 0.5*(V1G(I,J)+V1G(I,J-1)) 00012500
VLN1E2= 0.5*(V1L(I,J)+V1L(I,J-1)) 00012510
AN1E1 = 0.5*(A1(I,J-1)+A1(I,J)) 00012520
RETURN 00012530
END 00012540
SUBROUTINE FVBB2(I,J) 00012550
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00012560
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00012570
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00012580
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00012590
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00012600
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00012610
COMMON /D3/ UGE1E2,ULE1E2,UGA1E2,ULA1E2,UGE1E1,ULE1E1, 00012620
2 UGN1E1,ULN1E1,UGA1E1,ULA1E1,VGN1E2,VLN1E2, 00012630
3 VGN1E3,VLN1E3,AN1E1 00012640
UGE1E2=-U2G(I-1,J) 00012650
ULE1E2=-U2L(I-1,J) 00012660
UGA1E2=-U2G(I,J) 00012670
ULA1E2=-U2L(I,J) 00012680
UGE1E1=0. 00012690
ULE1E1=0. 00012700
UGN1E1=0. 00012710
ULN1E1=0. 00012720
UGA1E1=0. 00012730
ULA1E1=0. 00012740
VGN1E3= V2G(I,J) 00012750
VLN1E3= V2L(I,J) 00012760
VGN1E2= 0.5*(V2G(I,J)+V2G(I,J-1)) 00012770
VLN1E2= 0.5*(V2L(I,J)+V2L(I,J-1)) 00012780
AN1E1 = 0.5*(A2(I,J-1)+A2(I,J)) 00012790
RETURN 00012800
END 00012810
SUBROUTINE FVBM1(I,J) 00012820
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00012830
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00012840
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00012850
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00012860
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00012870
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00012880
COMMON /D3/ UGE1E2,ULE1E2,UGA1E2,ULA1E2,UGE1E1,ULE1E1, 00012890
2 UGN1E1,ULN1E1,UGA1E1,ULA1E1,VGN1E2,VLN1E2, 00012900
3 VGN1E3,VLN1E3,AN1E1 00012910
UGE1E2= U1G(I-1,J-1) 00012920
ULE1E2= U1L(I-1,J-1) 00012930
UGA1E2= U1G(I,J-1) 00012940
ULA1E2= U1L(I,J-1) 00012950
UGE1E1= 0.5*(U1G(I-1,J-1)+U1G(I-1,J)) 00012960
ULE1E1= 0.5*(U1L(I-1,J-1)+U1L(I-1,J)) 00012970
UGN1E1= 0.25*(U1G(I-1,J-1)+U1G(I,J-1)+U1G(I,J)+U1G(I-1,J)) 00012980
ULN1E1= 0.25*(U1L(I-1,J-1)+U1L(I,J-1)+U1L(I,J)+U1L(I-1,J)) 00012990
UGA1E1= 0.5*(U1G(I,J-1)+U1G(I,J)) 00013000
ULA1E1= 0.5*(U1L(I,J-1)+U1L(I,J)) 00013010
VGN1E3= V1G(I,J-2) 00013020
VLN1E3= V1L(I,J-2) 00013030

```

```

VGNIE2= 0.5*(V1G(I,J-2)+V1G(I,J-1))
VLNIE2= 0.5*(V1L(I,J-2)+V1L(I,J-1))
ANIE1 = 0.5*(A1(I,J-1)+A1(I,J))
RETURN
END
SUBROUTINE FVBM2(I,J)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)
COMMON /D3/ UGE1E2,ULE1E2,UGA1E2,ULA1E2,UGE1E1,ULE1E1,
2 UGNIE1,ULNIE1,UGA1E1,ULA1E1,VGNIE2,VLNIE2,
3 VGNIE3,VLNIE3,ANIE1
UGE1E2= U2G(I-1,J-1)
ULE1E2= U2L(I-1,J-1)
UGA1E2= U2G(I,J-1)
ULA1E2= U2L(I,J-1)
UGE1E1= 0.5*(U2G(I-1,J-1)+U2G(I-1,J))
ULE1E1= 0.5*(U2L(I-1,J-1)+U2L(I-1,J))
UGNIE1= 0.25*(U2G(I-1,J-1)+U2G(I,J-1)+U2G(I,J)+U2G(I-1,J))
ULNIE1= 0.25*(U2L(I-1,J-1)+U2L(I,J-1)+U2L(I,J)+U2L(I-1,J))
UGA1E1= 0.5*(U2G(I,J-1)+U2G(I,J))
ULA1E1= 0.5*(U2L(I,J-1)+U2L(I,J))
VGNIE3= V2G(I,J-2)
VLNIE3= V2L(I,J-2)
VGNIE2= 0.5*(V2G(I,J-2)+V2G(I,J-1))
VLNIE2= 0.5*(V2L(I,J-2)+V2L(I,J-1))
ANIE1= 0.5*(A2(I,J-1)+A2(I,J))
RETURN
END
SUBROUTINE FVUB1(I,J)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289),
2 P2(289),P(289)
3 COMMON /D4/ UGE1A2,ULE1A2,UGA1A2,ULA1A2,UGE1A1,ULE1A1,
2 UGNIA1,ULNIA1,UGA1A1,ULA1A1,VGNIA2,VLNIA2,
3 VGNIA3,VLNIA3,ANIA1 ,ANIA2 ,PNIA2
UGE1A2= U1G(I-1,J)
ULE1A2= U1L(I-1,J)
UGA1A2= U1G(I,J)
ULA1A2= U1L(I,J)
UGE1A1= U1G(I-1,J)
ULE1A1= U1L(I-1,J)
UGA1A1= U1G(I,J)
ULA1A1= U1L(I,J)
UGNIA1= 0.5*(UGE1A1+UGA1A1)
ULNIA1= 0.5*(ULE1A1+ULA1A1)
VGNIA2= V1G(I,J)
VLNIA2= V1L(I,J)
VGNIA3= V1G(I,J)
VLNIA3= V1L(I,J)
ANIA1 = A1(I,J)
ANIA2 = A1(I,J)
PNIA2 = INAO E NECESSARIO)
RETURN

```

C

```

END 00013660
SUBROUTINE FVUB2(I,J) 00013670
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00013680
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00013690
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00013700
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00013710
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00013720
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00013730
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00013740
2 P2(289),P1(289) 00013750
COMMON /D4/ UGE1A2,ULE1A2,UGA1A2,ULA1A2,UGE1A1,ULE1A1, 00013760
2 UGNIA1,ULNIA1,UGA1A1,ULA1A1,VGNIA2,VLNIA2, 00013770
3 VGNIA3,VLNIA3,ANIA1 ,ANIA2 ,PNIA2 00013780
UGE1A2= U2G(I-1,J) 00013790
ULE1A2= U2L(I-1,J) 00013800
UGA1A2= U2G(I,J) 00013810
ULA1A2= U2L(I,J) 00013820
UGE1A1= U2G(I-1,J) 00013830
ULE1A1= U2L(I-1,J) 00013840
UGA1A1= U2G(I,J) 00013850
ULA1A1= U2L(I,J) 00013860
UGNIA1= 0.5*(UGE1A1+UGA1A1) 00013870
ULNIA1= 0.5*(ULE1A1+ULA1A1) 00013880
VGNIA2= V2G(I,J) 00013890
VLNIA2= V2L(I,J) 00013900
VGNIA3= V2G(I,J) 00013910
VLNIA3= V2L(I,J) 00013920
ANIA1 = A2(I,J) 00013930
ANIA2 = A2(I,J) 00013940
PNIA2 = PP(I,J+1) 00013950
RETURN 00013960
END 00013970
SUBROUTINE FVUM1(I,J) 00013980
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00013990
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00014000
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00014010
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00014020
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00014030
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00014040
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00014050
2 P2(289),P1(289) 00014060
COMMON /D4/ UGE1A2,ULE1A2,UGA1A2,ULA1A2,UGE1A1,ULE1A1, 00014070
2 UGNIA1,ULNIA1,UGA1A1,ULA1A1,VGNIA2,VLNIA2, 00014080
3 VGNIA3,VLNIA3,ANIA1 ,ANIA2 ,PNIA2 00014090
UGE1A2= U1G(I-1,J+1) 00014100
ULE1A2= U1L(I-1,J+1) 00014110
UGA1A2= U1G(I,J+1) 00014120
ULA1A2= U1L(I,J+1) 00014130
UGE1A1= 0.5*(U1G(I-1,J)+U1G(I-1,J+1)) 00014140
ULE1A1= 0.5*(U1L(I-1,J)+U1L(I-1,J+1)) 00014150
UGA1A1= 0.5*(U1G(I,J)+U1G(I,J+1)) 00014160
ULA1A1= 0.5*(U1L(I,J)+U1L(I,J+1)) 00014170
UGNIA1= 0.5*(UGE1A1+UGA1A1) 00014180
ULNIA1= 0.5*(ULE1A1+ULA1A1) 00014190
VGNIA2= 0.5*(V1G(I,J)+V1G(I,J+1)) 00014200
VLNIA2= 0.5*(V1L(I,J)+V1L(I,J+1)) 00014210
VGNIA3= V1G(I,J+1) 00014220
VLNIA3= V1L(I,J+1) 00014230
ANIA1 = 0.5*(A1(I,J)+A1(I,J+1)) 00014240
ANIA2 = A1(I,J+1) 00014250
PNIA2 = (NAD E NECESSARIC) 00014260
RETURN 00014270

```

C

```

END 00014280
SUBROUTINE FVOM2(I,J) 00014290
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00014300
  COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00014310
  COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00014320
  COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00014330
  COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00014340
  COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00014350
  COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00014360
  2 P2(289),P(289) 00014370
  COMMON /D4/ UGE1A2,ULE1A2,UGA1A2,ULA1A2,UGE1A1,ULE1A1, 00014380
  2 UGN1A1,ULN1A1,UGA1A1,ULA1A1,VGN1A2,VLN1A2, 00014390
  3 VGN1A3,VLN1A3,ANIA1 ,ANIA2 ,PNIA2 00014400
  UGE1A2= U2G(I-1,J+1) 00014410
  ULE1A2= U2L(I-1,J+1) 00014420
  UGA1A2= U2G(I,J+1) 00014430
  ULA1A2= U2L(I,J+1) 00014440
  UGE1A1= 0.5*(U2G(I-1,J)+U2G(I-1,J+1)) 00014450
  ULE1A1= 0.5*(U2L(I-1,J)+U2L(I-1,J+1)) 00014460
  UGA1A1= 0.5*(U2G(I,J)+U2G(I,J+1)) 00014470
  ULA1A1= 0.5*(U2L(I,J)+U2L(I,J+1)) 00014480
  UGN1A1= 0.5*(UGE1A1+UGA1A1) 00014490
  ULN1A1= 0.5*(ULE1A1+ULA1A1) 00014500
  VGN1A2= 0.5*(V2G(I,J)+V2G(I,J+1)) 00014510
  VLN1A2= 0.5*(V2L(I,J)+V2L(I,J+1)) 00014520
  VGN1A3= V2G(I,J+1) 00014530
  VLN1A3= V2L(I,J+1) 00014540
  ANIA1 = 0.5*(A2(I,J)+A2(I,J+1)) 00014550
  ANIA2 = A2(I,J+1) 00014560
  PNIA2 = PP(I,J+1) 00014570
  RETURN 00014580
END 00014590
SUBROUTINE FVMM1(I,J) 00014600
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00014610
  COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00014620
  COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00014630
  COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00014640
  COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00014650
  COMMON /D5/ UGE1NJ,ULE1NJ,UGN1NJ,ULN1NJ,VGN1E1,VLN1E1, 00014660
  2 VGN1NJ,VLN1NJ 00014670
  UGE1NJ= U1G(I-1,J) 00014680
  ULE1NJ= U1L(I-1,J) 00014690
  UGN1NJ= 0.5*(U1G(I-1,J)+U1G(I,J)) 00014700
  ULN1NJ= 0.5*(U1L(I-1,J)+U1L(I,J)) 00014710
  VGN1E1= V1G(I,J-1) 00014720
  VLN1E1= V1L(I,J-1) 00014730
  VGN1NJ= 0.5*(V1G(I,J-1)+V1G(I,J)) 00014740
  VLN1NJ= 0.5*(V1L(I,J-1)+V1L(I,J)) 00014750
  RETURN 00014760
END 00014770
SUBROUTINE FVMM2(I,J) 00014780
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00014790
  COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00014800
  COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00014810
  COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00014820
  COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00014830
  COMMON /D5/ UGE1NJ,ULE1NJ,UGN1NJ,ULN1NJ,VGN1E1,VLN1E1, 00014840
  2 VGN1NJ,VLN1NJ 00014850
  UGE1NJ= U2G(I-1,J) 00014860
  ULE1NJ= U2L(I-1,J) 00014870
  UGN1NJ= 0.5*(U2G(I-1,J)+U2G(I,J)) 00014880
  ULN1NJ= 0.5*(U2L(I-1,J)+U2L(I,J)) 00014890

```

```

VGNIE1= V2G(I,J-1)
VLNIE1= V2L(I,J-1)
VGNINJ= 0.5*(V2G(I,J-1)+V2G(I,J))
VLNINJ= 0.5*(V2L(I,J-1)+V2L(I,J))
RETURN
END
SUBROUTINE EPRS(I,J,TBPF)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289),
2 P2(289),P(289)
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)
COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,CZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2,
2 PARE,VM
COMMON /C1/ I1,I11,I111,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM
COMMON /D1/ UGE3NJ,ULE3NJ,UGE2NJ,ULE2NJ,VGE2E1,VLE2E1,
2 VGE2A1,VLE2A1,VGE1E1,VLE1E1,VGE1NJ,VLE1NJ,
3 VGE1A1,VLE1A1,AE1NJ,RE3,RE1
COMMON /D2/ UGA2NJ,ULA2NJ,UGA3NJ,ULA3NJ,VGA2E1,VLA2E1,
2 VGA2A1,VLA2A1,VGA1E1,VLA1E1,VGA1NJ,VLA1NJ,
3 VGA1A1,VLA1A1,AA1NJ,AA2NJ,RA1,RA3,PA2NJ
COMMON /D4/ UGE1A2,ULE1A2,UGA1A2,ULA1A2,UGE1A1,ULE1A1,
2 UGNIA1,ULNIA1,UGA1A1,ULA1A1,VGNIA2,VLNIA2,
3 VGNIA3,VLNIA3,ANIA1,ANIA2,PNIA2
TBP1=0.
TBP2=0.
TBP3=0.
TBP4=0.
TBP5=0.
TBP6=0.
IF(J.EQ. 2) GO TO 10
IF(J.EQ.JJ) GO TO 30
IF(I1.EQ.I11) GO TO 20
GO TO 40
10 TBP1=PP(I,J-1)
TBP2=-1./DZ**2
IF(I.NE.I11) GO TO 40
20 TP1=RA2(I+1)/R(I+1)*U1G(I-1,J)
TP2=RE2(I)/R(I)*U1G(I-1,J)
TP3=RA2(I+1)/R(I+1)*U1L(I-1,J)
TP4=RE2(I)/R(I)*U1L(I-1,J)
TBP3=VL/DR*(AA1NJ*(TP1+TP2)+(1.-AA1NJ)*(TP3+TP4))
TBP4=-RA2(I)/(DR**2*R(I))
GO TO 40
30 TP6= ANIA1 *DG*UGNIA1*(VGA1A1-VGE1A1)/DR
TP7=(1.-ANIA1)*DL*ULNIA1*(VLA1A1-VLE1A1)/DR
TP8=GZ*(ANIA1*DG+(1.-ANIA1)*DL)
TBP5=DZ*(-(TP6+TP7)+TP8)
TBP6=-1./DZ**2
IF(I.NE.I11) GO TO 40
GO TO 20
40 TBPF=TBP1+TBP2+TBP3+TBP4+TBP5+TBP6
RETURN
END
SUBROUTINE PRS(I,J,M,N,K,TBPF)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17),A3(17,17), A4(17,17)
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)
00014900
00014910
00014920
00014930
00014940
00014950
00014960
00014970
00014980
00014990
00015000
00015010
00015020
00015030
00015040
00015050
00015060
00015070
00015080
00015090
00015100
00015110
00015120
00015130
00015140
00015150
00015160
00015170
00015180
00015190
00015200
00015210
00015220
00015230
00015240
00015250
00015260
00015270
00015280
00015290
00015300
00015310
00015320
00015330
00015340
00015350
00015360
00015370
00015380
00015390
00015400
00015410
00015420
00015430
00015440
00015450
00015460
00015470
00015480
00015490
00015500
00015510

```

COMMON /A3/	U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)	00015520
COMMON /A4/	V1G(17,17),V2G(17,17),TV3G(17,17),V4G(17,17)	00015530
COMMON /A5/	V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)	00015540
COMMON /A6/	XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), P2(289),P(289)	00015550 00015560
COMMON /A7/	RE2(17),R(17),RA2(17)	00015570
COMMON /B1/	RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2, PARE,VM	00015580 00015590
COMMON /D1/	UGE3NJ,ULE3NJ,UGE2NJ,ULE2NJ,VGE2E1,VLE2E1, VGE2A1,VLE2A1,VGE1E1,VLE1E1,VGE1NJ,VLE1NJ, VGE1A1,VLE1A1,AE1NJ,RE3,RE1	00015600 00015610 00015620
COMMON /D2/	UGA2NJ,ULA2NJ,UGA3NJ,ULA3NJ,VGA2E1,VLA2E1, VGA2A1,VLA2A1,VGA1E1,VLA1E1,VGA1NJ,VLA1NJ, VGA1A1,VLA1A1,AA1NJ,AA2NJ,RA1,RA3,PA2NJ	00015630 00015640 00015650
COMMON /D3/	UGE1E2,ULE1E2,UGA1E2,ULA1E2,UGE1E1,ULE1E1, UGN1E1,ULN1E1,UGA1E1,ULA1E1,VGN1E2,VLN1E2, VGN1E3,VLN1E3,ANIE1	00015660 00015670 00015680
COMMON /D4/	UGE1A2,ULE1A2,UGA1A2,ULA1A2,UGE1A1,ULE1A1, UGN1A1,ULN1A1,UGA1A1,ULA1A1,VGN1A2,VLN1A2, VGN1A3,VLN1A3,ANIA1,ANIA2,PNIA2	00015690 00015700 00015710
COMMON /D5/	UGE1NJ,ULE1NJ,UGN1NJ,ULN1NJ,VGN1E1,VLN1E1, VGN1NJ,VLN1NJ	00015720 00015730

C
C EQUACAO DA PRESSAO.
C

P100=RA2(I)*(AA1NJ*DG*U1G(I,J)+(1.-AA1NJ)*DL*U1L(I,J))	00015770
P105=-1.*RE2(I)*(AE1NJ*DG*UGE1NJ+(1.-AE1NJ)*DL*ULE1NJ)	00015780
P110=P100+P105	00015790
P115=(1./(DR*R(I)))*P110	00015800
P120=ANIA1*DG*V1G(I,J)+(1.-ANIA1)*DL*V1L(I,J)	00015810
P125=-1.*(ANIE1*DG*VGN1E1+(1.-ANIE1)*DL*VLN1E1)	00015820
P130=P120+P125	00015830
P135=(1./DZ)*P130	00015840
TPP1=(1./DT)*(P115+P135)	00015850
P200=AA1NJ*DG*(1./DR)*(UGA2NJ**2-UGN1NJ**2)	00015860
P205=(1.-AA1NJ)*DL*(1./DR)*(ULA2NJ**2-ULN1NJ**2)	00015870
P210=RA2(I)*(P200+P205)	00015880
P215=AE1NJ*DG*(1./DR)*(UGN1NJ**2-UGE2NJ**2)	00015890
P220=(1.-AE1NJ)*DL*(1./DR)*(ULN1NJ**2-ULE2NJ**2)	00015900
P225=-1.*RE2(I)*(P215+P220)	00015910
P230=(1./(DR*R(I)))*(P210+P225)	00015920
P235=ANIA1*DG*(1./DZ)*(VGN1A2**2-VGN1NJ**2)	00015930
P240=(1.-ANIA1)*DL*(1./DZ)*(VLN1A2**2-VLN1NJ**2)	00015940
P245=P235+P240	00015950
P250=ANIE1*DG*(1./DZ)*(VGN1NJ**2-VGN1E2**2)	00015960
P255=(1.-ANIE1)*DL*(1./DZ)*(VLN1NJ**2-VLN1E2**2)	00015970
P260=-1.*(P250+P255)	00015980
P265=(1./DZ)*(P245+P260)	00015990
TPP2=-0.5*(P230+P265)	00016000
P300=AA1NJ*DG*VGA1NJ*(1./DZ)*(UGA1A1-UGA1E1)	00016010
P305=(1.-AA1NJ)*DL*VLA1NJ*(1./DZ)*(ULA1A1-ULA1E1)	00016020
P310=RA2(I)*(P300+P305)	00016030
P315=AE1NJ*DG*VGE1NJ*(1./DZ)*(UGE1A1-UGE1E1)	00016040
P320=(1.-AE1NJ)*DL*VLE1NJ*(1./DZ)*(ULE1A1-ULE1E1)	00016050
P325=-1.*RE2(I)*(P315+P320)	00016060
P330=(1./(DR*R(I)))*(P310+P325)	00016070
P335=ANIA1*DG*UGN1A1*(1./DR)*(VGA1A1-VGE1A1)	00016080
P340=(1.-ANIA1)*DL*ULN1A1*(1./DR)*(VLA1A1-VLE1A1)	00016090
P345=P335+P340	00016100
P350=ANIE1*DG*UGN1E1*(1./DR)*(VGA1E1-VGE1E1)	00016110
P355=(1.-ANIE1)*DL*ULN1E1*(1./DR)*(VLA1E1-VLE1E1)	00016120
P360=-1.*(P350+P355)	00016130

ANIA

```

P365=(1./DZ)*(P345+P360) 00016140
TPP3=-1.*(P330+P365) 00016150
P400=ANIA1*UG+(1.-ANIA1)*DL 00016160
P405=-1.*(ANIE1*UG+(1.-ANIE1)*DL) 00016170
TPP4=(GZ/DZ)*(P400+P405) 00016180
P500=(1./(DR**2*RA1))*(RA3*UGA3NJ-RA2(I)*ULG(I,J)) 00016190
P505=-1.*(1./(DR**2*R(I))*(KA2(I)*ULG(I,J)-RE2(I)*UGE1NJ) 00016200
P510=(1./DZ**2)*(UGA1A2-(2.*ULG(I,J))+UGA1E2) 00016210
P515=AA1NJ*(P500+P505+P510)*VG 00016220
P520=(1./(DR**2*RA1))*(RA3*ULA3NJ-RA2(I)*UL(I,J)) 00016230
P525=-1.*(1./(DR**2*K(I))*(RA2(I)*UL(I,J)-RE2(I)*ULE1NJ) 00016240
P530=(1./DZ**2)*(ULA1A2-(2.*UL(I,J))+ULA1E2) 00016250
P535=(1.-AA1NJ)*(P520+P525+P530)*VL 00016260
P540=RA2(I)*(P515+P535) 00016270
P545=(1./(DR**2*R(I))*(RA2(I)*ULG(I,J)-RE2(I)*UGE1NJ) 00016280
P550=-1.*(1./(DR**2*RE1))*(RE2(I)*UGE1NJ-RE3*UGE3NJ) 00016290
P555=(1./DZ**2)*(UGE1A2-(2.*UGE1NJ)+UGE1E2) 00016300
P560=AE1NJ*(P545+P550+P555)*VG 00016310
P565=(1./(DR**2*R(I))*(RA2(I)*UL(I,J)-RE2(I)*ULE1NJ) 00016320
P570=-1.*(1./(DR**2*RE1))*(RE2(I)*ULE1NJ-RE3*ULE3NJ) 00016330
P575=(1./DZ**2)*(ULE1A2-(2.*ULE1NJ)+ULE1E2) 00016340
P580=(1.-AE1NJ)*(P565+P570+P575)*VL 00016350
P585=-1.*RE2(I)*(P560+P580) 00016360
P590=(1./(DR*R(I))*(P540+P585) 00016370
P595=(RA2(I)/DR**2)*(VGA2A1-VIG(I,J)) 00016380
P600=-1.*(RE2(I)/DR**2)*(VIG(I,J)-VGE2A1) 00016390
P605=(1./R(I))*(P595+P600) 00016400
P610=(1./DZ**2)*(VGN1A3-(2.*VIG(I,J))+VGN1E1) 00016410
P615=ANIA1*(P605+P610)*VG 00016420
P620=(RA2(I)/DR**2)*(VLA2A1-VIL(I,J)) 00016430
P625=-1.*(RE2(I)/DR**2)*(VIL(I,J)-VLE2A1) 00016440
P630=(1./R(I))*(P620+P625) 00016450
P635=(1./DZ**2)*(VLN1A3-(2.*VIL(I,J))+VLN1E1) 00016460
P640=(1.-ANIA1)*(P630+P635)*VL 00016470
P645=P615+P640 00016480
P650=(RA2(I)/DR**2)*(VGA2E1-VGN1E1) 00016490
P655=-1.*(RE2(I)/DR**2)*(VGN1E1-VGE2E1) 00016500
P660=(1./R(I))*(P650+P655) 00016510
P665=(1./DZ**2)*(VIG(I,J)-(2.*VGN1E1)+VGN1E3) 00016520
P670=ANIE1*(P660+P665)*VG 00016530
P675=(RA2(I)/DR**2)*(VLA2E1-VLN1E1) 00016540
P680=-1.*(RE2(I)/DR**2)*(VLN1E1-VLE2E1) 00016550
P685=(1./R(I))*(P675+P680) 00016560
P690=(1./DZ**2)*(VIL(I,J)-(2.*VLN1E1)+VLN1E3) 00016570
P695=(1.-ANIE1)*(P685+P690)*VL 00016580
P700=-1.*(P670+P695) 00016590
P705=(1./DZ)*(P645+P700) 00016600
TPP5=P590+P705 00016610
SR(M,N)=TPP1+TPP2+TPP3+TPP4+TPP5+TSPF 00016620
VLU(K)=SR(M,N) 00016630
RETURN 00016640
END 00016650
SUBROUTINE ENL(I,J) 00016660
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,J1,J11,IJ1,NN,MM,NMM 00016670
C 00016680
C EQUACAO DA CONTINUIDADE PARA O VAPOR. 00016690
C 00016700
C CALL FRAV(I,J) 00016710
C 00016720
C EQUACAO DA CONSERVACAO DE QUANT. DE MOV. NA DIRECAO AXIAL (VAPOR) 00016730
C 00016740
C CALL MAV(I,J) 00016750

```

```

C
C EQUACAO DA CONSERVACAO DE QUANT. DE MOV. NA DIRECAO AXIAL (LIQUIDO) 00016760
C 00016770
C 00016780
C CALL MAL(I,J) 00016790
C IF(1.EQ.11) RETURN 00016800
C 00016810
C EQUACAO DA CONSERVACAO DE QUANT. DE MOV. NA DIRECAO RADIAL (VAPOR) 00016820
C 00016830
C CALL MRV(I,J) 00016840
C 00016850
C EQUACAO DA CONSERVACAO DE QUANT. DE MOV. NA DIRECAO RADIAL (LIQUIDO) 00016860
C 00016870
C CALL MRL(I,J) 00016880
C RETURN 00016890
C END 00016900
C SUBROUTINE FRAV(I,J) 00016910
C IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00016920
C COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00016930
C COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17) 00016940
C COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RO,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00016950
C PARE,VM 00016960
C 2 COMMON /D2/ UGA2NJ,ULA2NJ,UGA3NJ,ULA3NJ,VGA2E1,VLA2E1, 00016970
C VGA2A1,VLA2A1,VGA1E1,VLA1E1,VGA1NJ,VLA1NJ, 00016980
C 2 VGA1A1,VLA1A1,AA1NJ,AA2NJ,RA1,RA3,PA2NJ 00016990
C 3 COMMON /D4/ UGE1A2,ULE1A2,UGA1A2,ULA1A2,UGE1A1,ULE1A1, 00017000
C UGN1A1,ULN1A1,UGA1A1,ULA1A1,VGN1A2,VLN1A2, 00017010
C 2 VGN1A3,VLN1A3,AN1A1,AN1A2,PN1A2 00017020
C 3 COMMON /D5/ UGE1NJ,ULE1NJ,UGN1NJ,ULN1NJ,VGN1E1,VLN1E1, 00017030
C 2 VGN1NJ,VLN1NJ 00017040
C 00017050
C EQUACAO DA CONTINUIDADE PARA O VAPOR. 00017060
C 00017070
C 00017080
C FV10=RA1*AA2NJ*UGA2NJ 00017090
C FV11=-1.*(R(17)*A2(17,17)*UGN1NJ) 00017100
C FV12=FV10+FV11 00017110
C FV01=(1./(DR*R(17)))*FV12 00017120
C FV20=AN1A2*VGN1A2 00017130
C FV21=-1.*(A2(17,17)*VGN1NJ) 00017140
C FV22=FV20+FV21 00017150
C FV02=(1./DZ)*FV22 00017160
C TFFV=FV01+FV02 00017170
C A4(I,J)=A1(I,J)-DT*TFFV 00017180
C RETURN 00017190
C END 00017200
C SUBROUTINE MAV(I,J) 00017210
C IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00017220
C COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00017230
C COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00017240
C COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00017250
C COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00017260
C COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00017270
C COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00017280
C P2(289),P(289) 00017290
C 2 COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17) 00017300
C COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RO,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00017310
C PARE,VM 00017320
C 2 COMMON /D1/ UGE3NJ,ULE3NJ,UGE2NJ,ULE2NJ,VGE2E1,VLE2E1, 00017330
C VGE2A1,VLE2A1,VGE1E1,VLE1E1,VGE1NJ,VLE1NJ, 00017340
C 2 VGE1A1,VLE1A1,AE1NJ,RE3,RE1 00017350
C 3 COMMON /D2/ UGA2NJ,ULA2NJ,UGA3NJ,ULA3NJ,VGA2E1,VLA2E1, 00017360
C VGA2A1,VLA2A1,VGA1E1,VLA1E1,VGA1NJ,VLA1NJ, 00017370
C 3 VGA1A1,VLA1A1,AA1NJ,AA2NJ,RA1,RA3,PA2NJ

```

```

COMMON /D4/ UGE1A2,ULE1A2,UGA1A2,ULA1A2,UGE1A1,ULE1A1,      00017380
2          UGN1A1,ULN1A1,UGA1A1,ULA1A1,VGN1A2,VLN1A2,      00017390
3          VGN1A3,VLN1A3,AN1A1,AN1A2,PN1A2                    00017400
COMMON /D5/ UGE1NJ,ULE1NJ,UGN1NJ,ULN1NJ,VGN1E1,VLN1E1,      00017410
2          VGN1NJ,VLN1NJ                                       00017420
C
C EQUACAO DA CONSERVACAO DE QUANT. DE MOV. NA DIRECAO AXIAL (VAPOR)
C
SA10=0.5/DZ                                                    00017430
SA11=VGN1A2**2-VGN1NJ**2                                     00017440
SA01=SA10*SA11                                                00017450
SA20=UGN1A1/DR                                                00017460
SA21=VGA1A1-VGE1A1                                           00017470
SA02=SA20*SA21                                                00017480
SA30=CD*DL                                                    00017490
SA31=RD*DG*AN1A1                                             00017500
SA32=SA30/SA31                                                00017510
SA33=DABS(V2G(I,J)-V2L(I,J)-VINFI)*(V2G(I,J)-V2L(I,J)+VINFI) 00017520
SA03=SA32*SA33                                               00017530
SA40=VGA2A1-V2G(I,J)                                         00017540
SA41=RA2(I)*SA40                                              00017550
SA42=V2G(I,J)-VGE2A1                                         00017560
SA43=-1.*(RE2(I)*SA42)                                       00017570
SA44=SA41+SA43                                                00017580
SA45=(1./(DR**2*R(I)))*SA44                                  00017590
SA46=1./DZ**2                                                00017600
SA47=(VGN1A3-(2.*V2G(I,J))+VGN1E1)                          00017610
SA48=SA46*SA47                                                00017620
SA49=SA45+SA48                                                00017630
SA04=-VG/DG*SA49                                             00017640
SA05=-1.*GZ                                                  00017650
SA60=1./(CZ*DG)                                              00017660
SA01=PN1A2-PP(I,J)                                           00017670
SA06=SA60*SA61                                               00017680
TFSA=SA01+SA02+SA03+SA04+SA05+SA06                          00017690
V4G(I,J)=VIG(I,J)-DT*TFSA                                    00017700
RETURN                                                         00017710
END                                                            00017720
SUBROUTINE MAL(I,J)                                          00017730
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                                     00017740
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17)    00017750
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17)  00017760
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17)  00017770
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17)  00017780
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17)  00017790
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00017800
2          P2(289),P(289)                                       00017810
COMMON /A7/ RE2(17),R(17),RA2(17)                            00017820
COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RD,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00017830
2          PARE,VM                                             00017840
COMMON /D1/ UGE3NJ,ULE3NJ,UGE2NJ,ULE2NJ,VGE2E1,VLE2E1,      00017850
2          VGE2A1,VLE2A1,VGE1E1,VLE1E1,VGE1NJ,VLE1NJ,      00017860
3          VGE1A1,VLE1A1,AE1NJ,RE3,RE1                       00017870
COMMON /D2/ UGA2NJ,ULA2NJ,UGA3NJ,ULA3NJ,VGA2E1,VLA2E1,      00017880
2          VGA2A1,VLA2A1,VGA1E1,VLA1E1,VGA1NJ,VLA1NJ,      00017890
3          VGA1A1,VLA1A1,AA1NJ,AA2NJ,RA1,RA3,PA2NJ          00017900
COMMON /D4/ UGE1A2,ULE1A2,UGA1A2,ULA1A2,UGE1A1,ULE1A1,      00017910
2          UGN1A1,ULN1A1,UGA1A1,ULA1A1,VGN1A2,VLN1A2,      00017920
3          VGN1A3,VLN1A3,AN1A1,AN1A2,PN1A2                    00017930
COMMON /D5/ UGE1NJ,ULE1NJ,UGN1NJ,ULN1NJ,VGN1E1,VLN1E1,      00017940
2          VGN1NJ,VLN1NJ                                       00017950

```

```

C EQUACAO DA CONSERVACAO DE QUANT. DE MOV. NA DIRECAO AXIAL (LIQUIDO) 00018000
C 00018010
WA10=0.5/DZ 00018020
WA11=VLNIA2**2-VLNINJ**2 00018030
WA01=WA10*WA11 00018040
WA20=ULNIA1/DR 00018050
WA21=VLA1A1-VLE1A1 00018060
WA02=WA20*WA21 00018070
WA30=-1.*(CD/(RD*(1.-ANIA1))) 00018080
WA31=DABS(V2G(1,J)-V2L(1,J)-VINFL)*(V2G(1,J)-V2L(1,J)+VINFL) 00018090
WA03=WA30*WA31 00018100
WA40=VLA2A1-V2L(1,J) 00018110
WA41=RAZ(1)*WA40 00018120
WA42=V2L(1,J)-VLE2A1 00018130
WA43=-1.*RE2(1)*WA42 00018140
WA44=WA41+WA43 00018150
WA45=(1./(DR**2*R(1)))*WA44 00018160
WA46=1./DZ**2 00018170
WA47=(VLNIA3-(2.*V2L(1,J))+VLNIE1) 00018180
WA48=WA46*WA47 00018190
WA49=WA45+WA48 00018200
WA04=-VL/DL*WA49 00018210
WA05=-1.*GZ 00018220
WA60=1./(DZ*DL) 00018230
WA61=VPIA2-PP(1,J) 00018240
WA06=WA60*WA61 00018250
TFWA=WA01+WA02+WA03+WA04+WA05+WA06 00018260
V4L(1,J)=VIL(1,J)-DT*TFWA 00018270
RETURN 00018280
END 00018290
SUBROUTINE MRV(1,J) 00018300
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00018310
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00018320
COMMON /A2/ U1G(17,17), U2G(17,17), U3G(17,17), U4G(17,17) 00018330
COMMON /A3/ U1L(17,17), U2L(17,17), U3L(17,17), U4L(17,17) 00018340
COMMON /A4/ V1G(17,17), V2G(17,17), V3G(17,17), V4G(17,17) 00018350
COMMON /A5/ V1L(17,17), V2L(17,17), V3L(17,17), V4L(17,17) 00018360
COMMON /A6/ XMAT(289,289), PP(17,17), SR(17,17), VLD(289), PI(289), 00018370
2 P2(289), P(289) 00018380
COMMON /A7/ RE2(17), R(17), RA2(17) 00018390
COMMON /B1/ RR, ZZ, DR, DZ, DG, DL, GZ, VG, VL, CD, RD, VINFL, DT, PCS1, PCS2, 00018400
2 PARE, VM 00018410
COMMON /D2/ UGA2NJ, ULA2NJ, UGA3NJ, ULA3NJ, VGAZE1, VLAZE1, 00018420
2 VGAZA1, VLAZA1, VGA1E1, VLA1E1, VGAINJ, VLA1NJ, 00018430
3 VGA1A1, VLA1A1, AA1NJ, AA2NJ, RA1, RA3, PA2NJ 00018440
COMMON /D3/ UGE1E2, ULE1E2, UGA1E2, ULA1E2, UGE1E1, ULE1E1, 00018450
2 UGN1E1, ULN1E1, UGA1E1, ULA1E1, VGN1E2, VLN1E2, 00018460
3 VGN1E3, VLN1E3, AN1E1 00018470
COMMON /D4/ UGE1A2, ULE1A2, UGA1A2, ULA1A2, UGE1A1, ULE1A1, 00018480
2 UGN1A1, ULN1A1, UGA1A1, ULA1A1, VGN1A2, VLN1A2, 00018490
3 VGN1A3, VLN1A3, AN1A1, AN1A2, PN1A2 00018500
COMMON /D5/ UGE1NJ, ULE1NJ, UGN1NJ, ULN1NJ, VGN1E1, VLN1E1, 00018510
2 VGN1NJ, VLN1NJ 00018520
C EQUACAO DA CONSERVACAO DE QUANT. DE MOV. NA DIRECAO RADIAL (VAPOR) 00018530
C 00018540
SR10=0.5/DR 00018550
SR11=UGA2NJ**2-UGN1NJ**2 00018560
SR01=SR10*SR11 00018570
SR20=VGAINJ/DZ 00018580
SR21=UGA1A1-UGA1E1 00018590
SR02=SR20*SR21 00018600
00018610

```

```

SR30=CD*DL                                00018620
SR31=RD*DG*AA1NJ                           00018630
SR32=SR30/SR31                             00018640
SR33=DABS(U2G(I,J)-U2L(I,J))*(U2G(I,J)-U2L(I,J)) 00018650
SR03=SR32*SR33                             00018660
SR40=RA3*UGA3NJ                            00018670
SR41=-1.*(RA2(I)*U2G(I,J))                 00018680
SR42=SR40+SR41                             00018690
SR43=RA2(I)*U2G(I,J)                       00018700
SR44=-1.*(RE2(I)*UGE1NJ)                   00018710
SR45=SR43+SR44                             00018720
SR46=(1./RA1)*SR42                         00018730
SR47=-1.*(1./R(I))*SR45                    00018740
SR48=(1./DR**2)*(SR46+SR47)                00018750
SR49=(1./DZ**2)*(UGA1A2-(2.*U2G(I,J))+UGA1E2) 00018760
SR04=-VG/DG*(SR48+SR49)                   00018770
SR50=1./(DR*DG)                            00018780
SR51=PA2NJ-PP(I,J)                         00018790
SR05=SR50*SR51                             00018800
TFSR=SR01+SR02+SR03+SR04+SR05            00018810
U4G(I,J)=U1G(I,J)-DT*TFSR                 00018820
RETURN                                       00018830
END                                          00018840
SUBROUTINE MRL(I,J)                        00018850
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                  00018860
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00018870
COMMON /A2/ U1G(17,17), U2G(17,17), U3G(17,17), U4G(17,17) 00018880
COMMON /A3/ U1L(17,17), U2L(17,17), U3L(17,17), U4L(17,17) 00018890
COMMON /A4/ V1G(17,17), V2G(17,17), V3G(17,17), V4G(17,17) 00018900
COMMON /A5/ V1L(17,17), V2L(17,17), V3L(17,17), V4L(17,17) 00018910
COMMON /A6/ XMAT(289,289), PP(17,17), SR(17,17), VLD(289), P1(289), 00018920
2 P2(289), P(289)                          00018930
COMMON /A7/ RE2(17), R(17), RA2(17)        00018940
COMMON /B1/ RR, ZZ, DR, DZ, DG, DL, GZ, VG, VL, CD, RD, VINP, DT, PCS1, PCS2, 00018950
2 PARE, VM                                  00018960
COMMON /D2/ UGA2NJ, ULA2NJ, UGA3NJ, ULA3NJ, VGAZE1, VLAZE1, 00018970
2 VGAZA1, VLAZA1, VGA1E1, VLA1E1, VGA1NJ, VLA1NJ, 00018980
3 VGA1A1, VLA1A1, AA1NJ, AA2NJ, RA1, RA3, PA2NJ 00018990
COMMON /D3/ UGE1E2, ULE1E2, UGA1E2, ULA1E2, UGE1E1, ULE1E1, 00019000
2 UGN1E1, ULN1E1, UGA1E1, ULA1E1, VGN1E2, VLN1E2, 00019010
3 VGN1E3, VLN1E3, AN1E1                    00019020
COMMON /D4/ UGE1A2, ULE1A2, UGA1A2, ULA1A2, UGE1A1, ULE1A1, 00019030
2 UGN1A1, ULN1A1, UGA1A1, ULA1A1, VGN1A2, VLN1A2, 00019040
3 VGN1A3, VLN1A3, AN1A1, AN1A2, PN1A2     00019050
COMMON /D5/ UGE1NJ, ULE1NJ, UGN1NJ, ULN1NJ, VGN1E1, VLN1E1, 00019060
2 VGN1NJ, VLN1NJ                           00019070
00019080
C EQUACAO DA CONSERVACAO DE QUANT. DE MOV. NA DIRECAO RADIAL (LIQUIDO)
C
WR10=0.5/DR                                00019100
WR11=ULA2NJ**2-ULN1NJ**2                   00019110
WR01=WR10*WR11                             00019120
WR20=VLA1NJ/DZ                              00019130
WR21=ULA1A1-ULA1E1                         00019140
WR02=WR20*WR21                             00019150
WR30=-1.*(CD/(RC*(1.-AA1NJ)))              00019160
WR31=DABS(U2G(I,J)-U2L(I,J))*(U2G(I,J)-U2L(I,J)) 00019170
WR03=WR30*WR31                             00019180
WR40=RA3*ULA3NJ                            00019190
WR41=-1.*(RA2(I)*U2L(I,J))                 00019200
WR42=WR40+WR41                             00019210
WR43=RA2(I)*U2L(I,J)                       00019220
00019230

```

```

NR44=-1.*(RE2(I)*ULE1NJ) 00019240
NR45=NR43+NR44 00019250
NR46=(1./RA1)*NR42 00019260
NR47=-1.*(1./R(I))*NR45 00019270
NR48=(1./DR**2)*(NR46+NR47) 00019280
NR49=(1./DZ**2)*(ULA1A2-(2.*U2L(I,J))+ULA1E2) 00019290
NR04=-VL/DL*(NR48+NR49) 00019300
NR50=1./(DR*DL) 00019310
NR51=PA2NJ-PP(I,J) 00019320
NR05=NR50*NR51 00019330
TFWR=NR01+NR02+NR03+NR04+NR05 00019340
U4L(I,J)=ULL(I,J)-DT*TFWR 00019350
RETURN 00019360
END 00019370
SUBROUTINE FVCLE(I,J) 00019380
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00019390
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00019400
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00019410
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00019420
C 00019430
C FIXACAO DO VALOR DE CONTORNO, APENAS PARA IMPRESSAO, DAS GRANDEZAS FRA 00019440
C CAO DE VAZIO E DA VELOCIDADE AXIAL DO VAPOR E DO LIQUIDO NO PRIMEIRO 00019450
C NIVEL RADIAL. 00019460
C 00019470
A4(I-1,J)= A4(I,J) 00019480
V4G(I-1,J)=V4G(I,J) 00019490
V4L(I-1,J)=V4L(I,J) 00019500
RETURN 00019510
END 00019520
SUBROUTINE FVCR8(I,J) 00019530
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00019540
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00019550
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00019560
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00019570
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00019580
C 00019590
C FIXACAO DO VALOR DE CONTORNO, APENAS PARA IMPRESSAO, DA GRANDEZA VELOCI 00019600
C DADE RADIAL E DA AXIAL DO VAPOR E DO LIQUIDO NO ULTIMO NIVEL RADIAL. 00019610
C 00019620
U4G(I+1,J)= U4G(I-1,J) 00019630
U4L(I+1,J)= U4L(I-1,J) 00019640
V4G(I+1,J)= -V4G(I,J) 00019650
V4L(I+1,J)= -V4L(I,J) 00019660
RETURN 00019670
END 00019680
SUBROUTINE FVCUE(I,J) 00019690
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00019700
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00019710
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00019720
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00019730
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00019740
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00019750
C 00019760
C FIXACAO DO VALOR DE CONTORNO, APENAS PARA IMPRESSAO, DA GRANDEZA FRACAO 00019770
C DE VAZIO NO ULTIMO NIVEL AXIAL. 00019780
C 00019790
A4(I,J+1)=A4(I,J) 00019800
C 00019810
C FIXACAO DO VALOR DE CONTORNO, APENAS PARA IMPRESSAO, DA GRANDEZA VELOCI- 00019820
C DADE RADIAL E DA AXIAL DO VAPOR E DO LIQUIDO NO ULTIMO NIVEL AXIAL. 00019830
C 00019840
U4G(I,J+1)=U4G(I,J) 00019850

```

```

U4L(I,J+1)=U4L(I,J)                                00019860
V4G(I,J+1)=V4G(I,J)                                00019870
V4L(I,J+1)=V4L(I,J)                                00019880
RETURN                                               00019890
END                                                  00019900
SUBROUTINE PRINTT(IVS)                               00019910
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,I11,NN,MM,NMM      00019920
COMMON /C2/ IVP1,IVP2,IVP3,IVP4,IVP5,IVP6,IVP7,IVP8,IVP9, 00019930
2          IVP10,IVP11,IVP12,IVP13                 00019940
IA=2                                                00019950
IB=I1                                               00019960
IF(IVP9.EQ.1) IA=1                                00019970
IF(IVP9.EQ.1) IB=I11                              00019980
IF(IVS.EQ.3) IA=1                                  00019990
IF(IVS.EQ.3) IB=I1                                00020000
IF(IVS.EQ.4.OR.IVS.EQ.5) IB=I11                  00020010
IC=IA+6                                             00020020
L=0                                                 00020030
10 L=L+1                                           00020040
K=0                                                 00020050
20 K=K+1                                           00020060
IF(K.NE.1) GO TO 40                                00020070
IF(IB.GE.IC) GO TO 30                              00020080
IPCP=IA                                             00020090
IUCP=IB                                             00020100
GO TO 60                                           00020110
30 IPCP=IA                                         00020120
IUCP=IC                                             00020130
GO TO 60                                           00020140
40 NCR=IB-IUCP                                     00020150
IF(NCR.GE.IC) GO TO 50                             00020160
IPCP=IUCP+1                                        00020170
IUCP=IB                                            00020180
GO TO 60                                           00020190
50 IPCP=IUCP+1                                     00020200
IUCP=IPCP+6                                        00020210
60 IF(IVS.NE.1) GO TO 140                          00020220
IF(L-2) 80, 90, 70                                00020230
70 IF(L-4) 100,110,120                             00020240
80 IF(K.EQ.1) CALL PT11                            00020250
CALL PT12(IPCP,IUCP)                               00020260
GO TO 130                                           00020270
90 CALL PT13(IPCP,IUCP)                            00020280
GO TO 130                                           00020290
100 CALL PT14(IPCP,IUCP)                           00020300
GO TO 130                                           00020310
110 CALL PT15(IPCP,IUCP)                           00020320
GO TO 130                                           00020330
120 CALL PT16(IPCP,IUCP)                           00020340
130 IF(IB.GT.IUCP) GO TO 20                         00020350
IF(L.LI.5) GO TO 10                                00020360
RETURN                                              00020370
140 IF(IVS.NE.2) GO TO 150                          00020380
CALL PT20(IPCP,IUCP)                               00020390
IF(IB.GT.IUCP) GO TO 20                           00020400
RETURN                                              00020410
150 IF(IVS.NE.3) GO TO 160                          00020420
CALL PT30(IPCP,IUCP)                               00020430
IF(IB.GT.IUCP) GO TO 20                           00020440
RETURN                                              00020450
160 IF(IVS.NE.4) GO TO 170                          00020460
CALL PT40(IPCP,IUCP)                               00020470

```

```

IF(1B.GT.IUCP) GO TO 20                                00020480
RETURN                                                  00020490
170 IF(IVS.NE.5) GC TC 180                              00020500
CALL PT50(IPCP,IUCP)                                  00020510
IF(1B.GT.IUCP) GO TO 20                              00020520
RETURN                                                  00020530
180 IF(IVS.NE.6) GO TO 190                            00020540
CALL PT60(IPCP,IUCP)                                  00020550
IF(1B.GT.IUCP) GO TO 20                              00020560
RETURN                                                  00020570
190 CALL PT70                                          00020580
RETURN                                                  00020590
END                                                     00020600
SUBROUTINE PT11                                        00020610
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                              00020620
COMMON /61/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CO,RO,VINF,DT,PCS1,PCS2, 00020630
2 PARE,VM                                              00020640
COMMON /63/ IVC,JVC,NT,MT                              00020650
WRITE(6,6000)NT,MT,PCS1,DT                            00020660
6000 FORMAT(1H1,'TIME STEP NUMERO',35X,'=',I4        00020670
2//' NUMERO DE ITERACOES REALIZADAS PARA A CONVERGENCIA', 1X,'=', 00020680
314//' PRECISAO DAS GRANDEZAS OBTIDAS NESSE TIME STEP', 5X,'= ', 00020690
4012.5//' VALOR DO INTERVALO DE TEMPO',24X,'= ',D12.5) 00020700
RETURN                                                  00020710
END                                                     00020720
SUBROUTINE PT12(IPCP,IUCP)                            00020730
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                              00020740
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00020750
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM        00020760
COMMON /C2/ IVP1 ,IVP2 ,IVP3 ,IVP4 ,IVP5 ,IVP6 ,IVP7 ,IVP8 ,IVP9 ,00020770
2 IVP10,IVP11,IVP12,IVP13                            00020780
JA=2                                                    00020790
JB=JJ                                                  00020800
IF(IVP9.EQ.1) JA=1                                    00020810
IF(IVP9.EQ.1) JB=JJ1                                  00020820
WRITE(6,6000)                                          00020830
5000 FORMAT(1HC,'IMPRESSAO DOS VALORES DA GRANDEZA FRACAO DE VAZIO.') 00020840
WRITE(6,6100)(I,I=IPCP,IUCP)                          00020850
6100 FORMAT(1HC,6X,7(6X,I2,10X))                      00020860
DO 10 J=JA,JB                                         00020870
WRITE(6,6200)J,(A4(I,J),I=IPCP,IUCP)                 00020880
5200 FORMAT(1HC,I2,4X,7(D14.7,4X))                   00020890
10 CONTINUE                                           00020900
RETURN                                                  00020910
END                                                     00020920
SUBROUTINE PT13(IPCP,IUCP)                            00020930
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)                              00020940
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00020950
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM        00020960
COMMON /C2/ IVP1 ,IVP2 ,IVP3 ,IVP4 ,IVP5 ,IVP6 ,IVP7 ,IVP8 ,IVP9 ,00020970
2 IVP10,IVP11,IVP12,IVP13                            00020980
JA=2                                                    00020990
JB=JJ                                                  00020990
IF(IVP9.EQ.1) JA=1                                    00021000
IF(IVP9.EQ.1) JB=JJ1                                  00021010
WRITE(6,6000)                                          00021020
6000 FORMAT(1HC,'IMPRESSAO DOS VALORES DA GRANDEZA VELOCIDADE RADIAL DO 00021030
2 VAPOR.')                                           00021050
WRITE(6,6100)(I,I=IPCP,IUCP)                          00021060
6100 FORMAT(1HC,6X,7(6X,I2,10X))                      00021070
DO 10 J=JA,JB                                         00021080
WRITE(6,6200)J,(U4G(I,J),I=IPCP,IUCP)                 00021090

```

```

6200 FORMAT(1H0,12,4X,7(D14.7,4X)) 00021100
10 CONTINUE 00021110
RETURN JJ021120
END 00021130
SUBROUTINE PT14(IPCP,IUCP) 00021140
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00021150
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00021160
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00021170
COMMON /C2/ IVP1,IVP2,IVP3,IVP4,IVP5,IVP6,IVP7,IVP8,IVP9, 00021180
2 IVP10,IVP11,IVP12,IVP13 00021190
JA=2 00021200
JB=JJ 00021210
IF(IVP5.EQ.1) JA=1 00021220
IF(IVP9.EQ.1) JB=JJ1 00021230
WRITE(6,6000) 00021240
6000 FORMAT(1H0,'IMPRESSAO DOS VALORES DA GRANDEZA VELOCIDADE RADIAL DO 000021250
2 LIQUIDO.') 00021260
WRITE(6,6100)(I,I=1PCP,IUCP) 00021270
6100 FORMAT(1H0,6X,7(6X,12,10X)) 00021280
DO 10 J=JA,JB 00021290
WRITE(6,6200)J,IU4L(I,J),I=1PCP,IUCP) 00021300
6200 FORMAT(1H0,12,4X,7(D14.7,4X)) 00021310
10 CONTINUE 00021320
RETURN 00021330
END 00021340
SUBROUTINE PT15(IPCP,IUCP) 00021350
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00021360
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00021370
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00021380
COMMON /C2/ IVP1,IVP2,IVP3,IVP4,IVP5,IVP6,IVP7,IVP8,IVP9, 00021390
2 IVP10,IVP11,IVP12,IVP13 00021400
JA=2 00021410
JB=JJ 00021420
IF(IVP9.EQ.1) JA=1 00021430
IF(IVP9.EQ.1) JE=JJ1 00021440
WRITE(6,6000) 00021450
6000 FORMAT(1H0,'IMPRESSAO DOS VALORES DA GRANDEZA VELOCIDADE AXIAL DO 00021460
2 VAPOR.') 00021470
WRITE(6,6100)(I,I=1PCP,IUCP) 00021480
6100 FORMAT(1H0,6X,7(6X,12,10X)) 00021490
DO 10 J=JA,JB 00021500
WRITE(6,6200)J,(V4G(I,J),I=1PCP,IUCP) 00021510
6200 FORMAT(1H0,12,4X,7(D14.7,4X)) 00021520
10 CONTINUE 00021530
RETURN 00021540
END 00021550
SUBROUTINE PT16(IPCP,IUCP) 00021560
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00021570
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00021580
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00021590
COMMON /C2/ IVP1,IVP2,IVP3,IVP4,IVP5,IVP6,IVP7,IVP8,IVP9, 00021600
2 IVP10,IVP11,IVP12,IVP13 00021610
JA=2 00021620
JB=JJ 00021630
IF(IVP9.EQ.1) JA=1 00021640
IF(IVP9.EQ.1) JB=JJ1 00021650
WRITE(6,6000) 00021660
6000 FORMAT(1H0,'IMPRESSAO DOS VALORES DA GRANDEZA VELOCIDADE AXIAL DO 00021670
2 LIQUIDO.') 00021680
WRITE(6,6100)(I,I=1PCP,IUCP) 00021690
6100 FORMAT(1H0,6X,7(6X,12,10X)) 00021700
DO 10 J=JA,JB 00021710

```

```

WRITE(6,6200)J,(V4L(I,J),I=IPCP,IUCP) 00021720
6200 FORMAT(1H0,12,4X,7(D14.7,4X)) 00021730
10 CONTINUE 00021740
RETURN 00021750
END 00021760
SUBROUTINE PT20(IPCP,IUCP) 00021770
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00021780
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SK(17,17),VLD(289),P1(289), 00021790
2 P2(289),P(289) 00021800
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00021810
COMMON /C2/ IVP1,IVP2,IVP3,IVP4,IVP5,IVP6,IVP7,IVP8,IVP9, 00021820
2 IVP10,IVP11,IVP12,IVP13 00021830
JA=2 00021840
JB=JJ 00021850
IF(IVP9.EQ.1) JA=1 00021860
IF(IVP9.EQ.1) JB=JJ1 00021870
WRITE(6,6000) 00021880
6000 FORMAT(1H1,'IMPRESSAO DOS VALORES DA MATRIZ DA PRESSAO.')
```

```

WRITE(6,6100)(I,I=IPCP,IUCP) 00021900
6100 FORMAT(1H0,6X,7(6X,12,10X)) 00021910
DO 10 J=JA,JB 00021920
WRITE(6,6200)J,(PP(I,J),I=IPCP,IUCP) 00021930
6200 FORMAT(1H0,12,4X,7(D14.7,4X)) 00021940
10 CONTINUE 00021950
RETURN 00021960
END 00021970
SUBROUTINE PT30(IPCP,IUCP) 00021980
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00021990
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00022000
2 P2(289),P(289) 00022010
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00022020
WRITE(6,6000) 00022030
6000 FORMAT(1H1,'IMPRESSAO DOS VALORES DA MATRIZ LADO DIREITO.')
```

```

WRITE(6,6100)(I,I=IPCP,IUCP) 00022050
6100 FORMAT(1H0,6X,7(6X,12,10X)) 00022060
DO 10 J=1,J1 00022070
WRITE(6,6200)J,(SR(I,J),I=IPCP,IUCP) 00022080
6200 FORMAT(1H0,12,4X,7(D14.7,4X)) 00022090
10 CONTINUE 00022100
RETURN 00022110
END 00022120
SUBROUTINE PT40(IPCP,IUCP) 00022130
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00022140
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00022150
2 P2(289),P(289) 00022160
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00022170
WRITE(6,6000) 00022180
6000 FORMAT(1H1,'IMPRESSAO DOS VALORES DA MATRIZ PENTADIAGONAL.')
```

```

WRITE(6,6100)(J,J=IPCP,IUCP) 00022200
6100 FORMAT(1H0,6X,7(5X,13,10X)) 00022210
DO 10 I=1,IJ1 00022220
WRITE(6,6200)I,(XMAT(I,J),J=IPCP,IUCP) 00022230
6200 FORMAT(1H0,13,3X,7(D14.7,4X)) 00022240
10 CONTINUE 00022250
RETURN 00022260
END 00022270
SUBROUTINE PT50(IPCP,IUCP) 00022280
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) 00022290
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SR(17,17),VLD(289),P1(289), 00022300
2 P2(289),P(289) 00022310
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00022320
WRITE(6,6000) 00022330

```

```

6000 FORMAT(1H1,'IMPRESSAO DOS VALORES DA MATRIZ INVERSA.')
```

	00022340
WRITE(6,6100)(I,J,J=IPCP,IUCP)	00022350
6100 FORMAT(1H0,6X,7(5X,13,10X))	00022360
DO 10 I=1,IJ1	00022370
WRITE(6,6200)I,(XMAT(I,J),J=IPCP,IUCP)	00022380
6200 FORMAT(1H0,13,3X,7(D14.7,4X))	00022390
10 CONTINUE	00022400
RETURN	00022410
END	00022420
SUBROUTINE PT60(IPCP,IUCP)	00022430
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)	00022440
COMMON /A7/ RE2(17),K(17),RA2(17)	00022450
WRITE(6,6000)	00022460
6000 FORMAT(1H0,'IMPRESSAO DOS VALORES DO VETOR KAIO.')	00022470
WRITE(6,6100)(I,I=IPCP,IUCP)	00022480
6100 FORMAT(1H0,6X,7(6X,12,10X))	00022490
WRITE(6,6200)(KE2(I),I=IPCP,IUCP)	00022500
6200 FORMAT(1H0,6X,7(D14.7,4X))	00022510
WRITE(6,6300)(R(I),I=IPCP,IUCP)	00022520
6300 FORMAT(1H,6X,7(D14.7,4X))	00022530
WRITE(6,6400)(RA2(I),I=IPCP,IUCP)	00022540
6400 FORMAT(1H,6X,7(D14.7,4X))	00022550
RETURN	00022560
END	00022570
SUBROUTINE PT70	00022580
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)	00022590
COMMON /B1/ RR,ZZ,DR,DZ,DG,DL,GZ,VG,VL,CD,RO,VINF,OT,PCS1,PCS2,	00022600
2 PARE,VM	00022610
COMMON /B2/ CIA,CIUG,CIUL,CIVG,CIVL,CHIA,CHIUG,CHIUL,CHIVG,CHIVL	00022620
COMMON /B3/ PPO,PPR,AO,AR,CCVIGO,CCVIGR,	00022630
1 CCVILO,CCVILR,CCAJ,CCUJG,CCUJL	00022640
COMMON /C1/ I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM	00022650
COMMON /C2/ IVP1,IVP2,IVP3,IVP4,IVP5,IVP6,IVP7,IVP8,IVP9,	00022660
2 IVP10,IVP11,IVP12,IVP13	00022670
WRITE(6,6000)	00022680
6000 FORMAT(1H1,'IMPRESSAO DOS DADOS DE ENTRADA.')	00022690
WRITE(6,6100)(IVP1,IVP2,IVP3,IVP4,IVP5,IVP6,IVP7,IVP8,IVP9,	00022700
2 IVP10,IVP11,IVP12,IVP13	00022710
6100 FORMAT(1H0,'1- VARIAVEIS INTEIRAS CONTROLADORAS DA OPCAO DE IMPRES	00022720
2SAO.'//9(4X,I1)//4(1X,I4))	00022730
WRITE(6,6200)I1,J1,NN,MM,NMM	00022740
6200 FORMAT(1H0,'2- VARIAVEIS INTEIRAS DE DIMENSIONAMENTO ESPACIAL E NU	00022750
2MERO.'//5(1X,I4))	00022760
WRITE(6,6300)RR,ZZ,DR,DZ,	00022770
2 DG,DL,GZ,	00022780
3 VG,VL,CD,RO,VINF,	00022790
4 DT,PCS1,PCS2,PARE,VM,	00022800
5 CIA,CIUG,CIUL,CIVG,CIVL,	00022810
6 CHIA,CHIUG,CHIUL,CHIVG,CHIVL,	00022820
7 PPO,PPR,AO,AR,	00022830
8 CCVIGO,CCVIGR,CCVILO,CCVILR,	00022840
9 CCAJ,CCUJG,CCUJL	00022850
6300 FORMAT(1H0,'3- VARIAVEIS REAIS.')	00022860
2//1X,4(3X,D12.5)//1X,3(3X,D12.5)//1X,5(3X,D12.5)//1X,5(3X,D12.5)	00022870
3//1X,5(3X,D12.5)//1X,5(3X,D12.5)//1X,4(3X,D12.5)//1X,4(3X,D12.5)	00022880
4//1X,3(3X,D12.5)	00022890
RETURN	00022900
END	00022910
SUBROUTINE PLOTTA(XX,YY,IA)	00022920
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)	00022930
REAL *4 XX,YY,XLINE,YLINE,AREA,YSCALE	00022940
DIMENSION XX(IA,3),YY(IA,3),NDATA(3),ISYMBL(3),XLINE(1),YLINE(1),	00022950

```

ZAREA(J1,50),YSCALE(50)                                00022960
COMMON /A1/ A1(17,17), A2(17,17), A3(17,17), A4(17,17) 00022970
COMMON /A2/ U1G(17,17),U2G(17,17),U3G(17,17),U4G(17,17) 00022980
COMMON /A3/ U1L(17,17),U2L(17,17),U3L(17,17),U4L(17,17) 00022990
COMMON /A4/ V1G(17,17),V2G(17,17),V3G(17,17),V4G(17,17) 00023000
COMMON /A5/ V1L(17,17),V2L(17,17),V3L(17,17),V4L(17,17) 00023010
COMMON /A6/ XMAT(289,289),PP(17,17),SK(17,17),VLD(289),P1(239), 00023020
2 P2(289),P1(289) 00023030
COMMON /A7/ RE2(17),R1(17),RA2(17) 00023040
COMMON /C1/ I1,I1,I11,J1,JJ,JJ1,IJ1,NN,MM,NMM 00023050
COMMON /C2/ IVP1,IVP2,IVP3,IVP4,IVP5,IVP6,IVP7,IVP8,IVP9, 00023060
2 IVP10,IVP11,IVP12,IVP13 00023070
DATA ISYMBL /4H1111,4H2222,4H3333/ 00023080
NPO=11 00023090
NP1=11 00023100
NDMAX=11 00023110
DO 5 J=1,3 00023120
NDATA(J)=NPO 00023130
5 CONTINUE 00023140
DO 85 J=1,6 00023150
IF(J-2)20,30,10 00023160
10 IF(J-4)40,50,15 00023170
15 IF(J-6)60,70,70 00023180
20 DO 25 I=2,NP1 00023190
XX(I-1,1)=R(I) 00023200
XX(I-1,2)=R(I) 00023210
XX(I-1,3)=R(I) 00023220
YY(I-1,1)=PP(I,IVP11) 00023230
YY(I-1,2)=PP(I,IVP12) 00023240
YY(I-1,3)=PP(I,IVP13) 00023250
25 CONTINUE 00023260
GO TO 80 00023270
30 DO 35 I=2,NP1 00023280
XX(I-1,1)=R(I) 00023290
XX(I-1,2)=R(I) 00023300
XX(I-1,3)=R(I) 00023310
YY(I-1,1)=A4(I,IVP11) 00023320
YY(I-1,2)=A4(I,IVP12) 00023330
YY(I-1,3)=A4(I,IVP13) 00023340
35 CONTINUE 00023350
GO TO 80 00023360
40 DO 45 I=2,NP1 00023370
XX(I-1,1)=RA2(I) 00023380
XX(I-1,2)=RA2(I) 00023390
XX(I-1,3)=RA2(I) 00023400
YY(I-1,1)=U4G(I,IVP11) 00023410
YY(I-1,2)=U4G(I,IVP12) 00023420
YY(I-1,3)=U4G(I,IVP13) 00023430
45 CONTINUE 00023440
GO TO 80 00023450
50 DO 55 I=2,NP1 00023460
XX(I-1,1)=RA2(I) 00023470
XX(I-1,2)=RA2(I) 00023480
XX(I-1,3)=RA2(I) 00023490
YY(I-1,1)=U4L(I,IVP11) 00023500
YY(I-1,2)=U4L(I,IVP12) 00023510
YY(I-1,3)=U4L(I,IVP13) 00023520
55 CONTINUE 00023530
GO TO 80 00023540
60 DO 65 I=2,NP1 00023550
XX(I-1,1)=R(I) 00023560
XX(I-1,2)=R(I) 00023570

```

XX(I-1,3)=R(I)	00023580
YY(I-1,1)=V4G(I,IVP11)	00023590
YY(I-1,2)=V4G(I,IVP12)	00023600
YY(I-1,3)=V4G(I,IVP13)	00023610
65 CONTINUE	00023620
GO TO 80	00023630
70 DO 75 I=2,NP1	00023640
XX(I-1,1)=R(I)	00023650
XX(I-1,2)=R(I)	00023660
XX(I-1,3)=R(I)	00023670
YY(I-1,1)=V4L(I,IVP11)	00023680
YY(I-1,2)=V4L(I,IVP12)	00023690
YY(I-1,3)=V4L(I,IVP13)	00023700
75 CONTINUE	00023710
80 CALL PLOTT(XX,YY,NDATA,NDMAX,ISYMBL,3,XLINE,0,YLINE,0,40,80,1,1, ZAREA,YSCALE)	00023720
85 CONTINUE	00023730
RETURN	00023740
END	00023750
	00023760