

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

DIEGO ENZO MARINHO IRIGARAY

**ESTUDO HIDRODINÂMICO DE LEITOS FLUIDIZADOS EM
LABORATÓRIO**

MANAUS

2022

DIEGO ENZO MARINHO IRIGARAY

**ESTUDO HIDRODINÂMICO DE LEITOS FLUIDIZADOS EM
LABORATÓRIO**

**Monografia apresentada ao
Curso de Graduação em Engenharia
Química da Escola Superior de
Tecnologia da Universidade do Estado
do Amazonas, para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química.**

Orientador: Prof. Dr. Clairon Lima Pinheiro

MANAUS

2022

DIEGO ENZO MARINHO IRIGARAY

**ESTUDO HIDRODINÂMICO DE LEITOS FLUIDIZADOS EM
LABORATÓRIO**

**Monografia de Conclusão de Curso para obtenção do título de
Engenheiro, Habilitação em Engenharia Química – Escola Superior de
Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas**

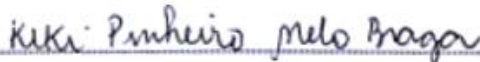
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Clairon Lima Pinheiro - Orientador



Prof. Dr. Douglas Alberto Rocha de Castro – ULBRA



Profa. Dra. Kiki Pinheiro Melo Braga - UEA

Conceito:

Manaus, 11 de outubro de 2022.

DEDICATÓRIA

A Deus, por ser extremamente piedoso e bondoso...
Aos meus pais pela paciência e apoio durante essa jornada...

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Clairon Lima Pinheiro, pela motivação para estudar e proporcionar uma maior qualidade à minha monografia.

Ao Prof. Dr. Jefferson Grangeiro, por compartilhar e ajudar no conhecimento sobre o tema estudado.

À Profa. Dra. Práticia Melchionna Albuquerque pela dedicação, apoio e compartilhamento do conhecimento durante essa jornada.

Ao Prof. Dr. Sergio Duvoisin Junior, por sempre acreditar em meu potencial.

Ao Prof. Dr. Bayardo Dupotey, grande mestre e querido amigo.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Herrero, grande mestre, incentivador e querido amigo que sempre fortaleceu meu desempenho.

A minha família, pela confiança, motivação e apoio durante essa longa jornada.

Aos amigos e colegas, pela força e motivação, sempre acreditando em meu potencial.

Aos professores do Curso pela dedicação e comprometimento com a melhor aprendizagem aos alunos.

Aos colegas de Curso, pela troca de conhecimentos, ajuda mútua e por juntos, trilharmos uma etapa importante de nossas vidas.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

RESUMO

Na indústria química, os leitos fluidizados possuem uma ampla aplicação em diversos processos químicos e físicos, como destilação, absorção, dessorção, extração, filtração, secagem e etc. Essa operação é constituída por uma torre, normalmente cilíndrica, preenchida com partículas sólidas porosas. Esses poros formam canais de escoamento por onde um fluido escoar de forma ascendente, respeitando as leis hidrodinâmicas de acordo com a vazão aplicada. Nos dias atuais, o Laboratório de Engenharia Química da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, possui um equipamento de fluidização em escala piloto, constituído de duas colunas para operação, uma com gás (ar) e outra com líquido (água). Para o desenvolvimento do trabalho, para cada coluna foram formados leitos com diferentes quantidades (300g, 250g e 200g) de partículas (partículas esféricas de vidro). Com o experimento, foi possível observar que os regimes comportamentais dos leitos com diferentes quantidades de partículas são semelhantes, uma vez que, as outras variáveis da operação foram mantidas constantes. Através dos dados experimentais obtidos, foi possível elaborar as curvas experimentais e determinar os pontos mínimos de fluidização e de borbulhamento, obtendo assim, o intervalo de fluidização homogênea. Para a fluidização do leito em água, obteve-se um intervalo de 49% de incremento após a velocidade mínima de fluidização. Para a fluidização com gás, o intervalo foi de apenas 12%. Posteriormente, com a análise comparativa entre as curvas experimentais e teóricas, foi possível observar que uma operação com fluidização em água sofre menor interferência das propriedades das partículas do que uma fluidização com ar, tornando-se mais previsível.

Palavras-chave: Leitos fluidizados. Equipamento de fluidização. Regimes de fluidização. Intervalo de fluidização homogênea.

ABSTRACT

In the chemical industry, the fluidized beds have a wide application at most chemical and physical processes such as distillation, absorption, desorption, extraction, filtration, drying and etc. This operation consists of a tower, normally cylindrical, filled with porous solid particles (normally is a catalyst). These pores form flow channels through which a fluid flows upwards, respecting the hydrodynamic laws according to the applied flow. In the present day, the Chemical Engineering Laboratory at Technology Superior School of Amazonas State University has a fluidization equipment on a pilot scale, it consisting of two columns for operation, one with gas (air) and other with liquid (water). For the development of the work, for each column, were formed beds with different amounts (300g, 250g and 200g) of particles (spherical glass particles). It was possible to observe, with the experiment that behavior regimes of the beds with different amounts of particles are similar, once that, the other variables of the operation were constants. Through the obtained experimental data, it was possible to elaborate the experimental curves and to determine the minimum points of fluidization and bubbling, thus acquiring, a homogeneous fluidization range. For the bed fluidization with water, acquired an increase range of 49% after the minimum velocity of fluidization. For gas fluidization, the range was only 12%. Subsequently, with the comparative analysis between the experimental and theoretical curves, it was possible to observe that an operation with fluidization in water suffers less interference of the particle properties than a fluidization with air, it becoming more expected.

Key words: Fluidization beds. Fluidization equipment. Fluidization regimes. Homogeneous fluidization range.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Representação de volumes e poros em uma partícula.....	23
Figura 02 – Representação dos diâmetros (d_i e d_e) em uma partícula.....	24
Figura 03 – Gráfico da classificação de Geldart	26
Figura 04 – Regimes observados em uma operação de fluidização.....	32
Figura 05 – Comportamento da queda de pressão em função da velocidade superficial.....	34
Figura 06 – Gráfico da queda de pressão em função da velocidade superficial.....	35
Figura 07 – Gráfico da porosidade em função da velocidade superficial.....	36
Figura 08 – Fluxograma sobre as etapas experimentais aplicadas.....	37
Figura 09 – Parte frontal do Equipamento Fluidizador Didatech.....	38
Figura 10 – Coluna C1 e C2 de fluidização.....	39
Figura 11 – Rotâmetro FI1 (a) para coluna de água C1 e rotâmetro FI2 (b) para coluna de ar C2.....	40
Figura 12 – Manômetro Pdl1 (a) tubo duplo conectado à coluna C1 e manômetro Pdl2 (b) tubo em “U”, conectado à coluna C2.....	40
Figura 13 – Botoeira B1 (a) para energização do sistema de fluidização com água e B2 (b) para ar.....	41
Figura 14 – Válvula de passagem de ar secundária.....	41
Figura 15 – Equipamentos secundários na parte posterior do Fluidizador Didatech.....	42
Figura 16 – Béquer vazio (a) e béquer com esferas de vidro (b) sendo pesados para determinação da densidade experimental das partículas.....	43
Figura 17 – Proveta graduada com água (a) e com esferas de vidro já colocadas (b).....	44
Figura 18 – Aplicação da classificação de Geldart para partículas experimentais.....	45
Figura 19 – Pesagem de béquer vazio (a) e com esferas de vidro (b) para formação dos leitos experimentais.....	46
Figura 20 – Exemplificação na obtenção de dados experimentais no rotâmetro FI2 (a), manômetro Pdl2 (b) e altura do leito (c).....	47
Figura 21 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leito 1 (300g), fluidização em água.....	57
Figura 22 – Gráfico ($\varepsilon \times V_v$) de práticas utilizando o leito 1 (300g), fluidização em água.....	57
Figura 23 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leito 3 (250g), fluidização em água.....	58
Figura 24 – Gráfico ($\varepsilon \times V_v$) de práticas utilizando o leito 3 (250g), fluidização em água.....	58

Figura 25 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leite 5 (200g), fluidização em água.....	59
Figura 26 – Gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$) de práticas utilizando o leite 5 (200g), fluidização em água.....	59
Figura 27 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) representativo ao leite 1 (300g), fluidização em água.....	60
Figura 28 – Gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$) representativo ao leite 1 (300g), fluidização em água.....	61
Figura 29 – Gráfico ($H \times V_v$) representativo ao leite 1 (300g), fluidização em água.....	61
Figura 30 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) representativo ao leite-amostra 1 (300g), fluidização em água.....	62
Figura 31 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) representativo para leitos - C1 fluidização em água.....	63
Figura 32 – Gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$) representativo para leitos - C1 fluidização em água.....	63
Figura 33 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leite 2 (300g), fluidização em ar	65
Figura 34 – Gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$) de práticas utilizando o leite 2 (300g), fluidização em ar.....	65
Figura 35 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leite 4 (250g), fluidização em ar	66
Figura 36 – Gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$) de práticas utilizando o leite 4 (250g), fluidização em ar.....	66
Figura 37 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leite 6 (200g), fluidização em ar	67
Figura 38 – Gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$) de práticas utilizando o leite 6 (200g), fluidização em ar.....	67
Figura 39 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) representativo ao leite-amostra 2 (300g), fluidização em ar.....	68
Figura 40 – Gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$) representativo ao leite 2 (300g), fluidização em ar.....	69
Figura 41 – Gráfico ($H \times V_v$) representativo ao leite 2 (300g), fluidização em ar.....	69
Figura 42 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) representativo ao leite 2 (300g), fluidização em ar.....	70
Figura 43 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) representativo para leitos – C2 fluidização em ar.....	71
Figura 44 – Gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$) representativo para leitos – C2 fluidização em ar.....	72
Figura 45 – Curvas comportamentais teóricas para leite 1, fluidização em água.....	74
Figura 46 – Curvas teóricas e curvas experimentais com os regimes observados para amostras fluidizadas em água.....	75
Figura 47 – Curvas comportamentais teóricas para leite 2, fluidização em ar.....	76
Figura 48 – Curvas teóricas e curvas experimentais com os regimes observados para amostras fluidizadas em ar.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Dados mássicos das esferas de vidro.....	44
Tabela 02 – Dados volumétricos da proveta.....	44
Tabela 03 – Pesos das amostras para formação dos leitos experimentais.....	46
Tabela 04 – Alturas e porosidades iniciais dos leitos experimentais.....	50
Tabela 05 – Alturas teóricas iniciais (H_{MF}) dos leitos.....	54
Tabela 06 – Dados obtidos no ponto mínimo de fluidização em todos os leitos.....	55
Tabela 07 – Dados obtidos no ponto mínimo de fluidização teórico de todos os leitos.....	55
Tabela 08 - Resultados experimentais consolidados para amostra 1, fluidização em água.....	63
Tabela 09 – Resultados consolidados para amostras fluidizadas em água.....	64
Tabela 10 - Resultados experimentais consolidados para amostra 2, fluidização em ar.....	70
Tabela 11 – Resultados consolidados para amostras fluidizadas em ar.....	72
Tabela 12 – Dados experimentais e teóricos consolidados.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Área secção da coluna
B1	Botoeira seletora 1
B2	Botoeira seletora 2
C1	Coluna de fluidização 1
C2	Coluna de fluidização 2
D	Diâmetro de uma tubulação
D1	Reservatório pulmão água
D2	Reservatório de ar comprimido
d_e	Diâmetro da circunferência externa da partícula
d_i	Diâmetro da circunferência interna da partícula
D_p	Diâmetro da partícula
FI1	Rotâmetro da coluna 1
FI2	Rotâmetro da coluna 2
g	Aceleração gravitacional
G1	Bomba autoescorvante
H	Altura em um ponto no leito
H_{MA}	Altura mínima de arraste
H_{MB}	Altura mínima de borbulhamento
H_{MF}	Altura mínima de fluidização
H_{MO}	Altura do leito compactado
H_1	Altura em determinado ponto no leito fixo
H_2	Altura em determinado ponto no leito móvel
m	Massa de uma substância ou partícula
PdI1	Manômetro da coluna 1
PdI2	Manômetro da coluna 2
PSV1	Válvula de segurança
P1	Compressor diafragma duplo
Q	Vazão de um fluido
R	Raio de uma tubulação ou de uma esfera ou circunferência
Re	Número de Reynolds
Re_{MF}	Número de Reynolds no ponto de mínima fluidização
\bar{V}	Velocidade média
V	Volume ocupado de uma substância ou partícula
V_a	Volume hidrodinâmico da partícula

V_L	Velocidade média intersticial no leito
$V_{MÁX}$	Velocidade máxima de um fluido no interior de um tubo
V_{MA}	Velocidade mínima de arraste
V_{MB}	Velocidade mínima de borbulhamento
V_{MF}	Velocidade mínima de fluidização
V_{MP}	Velocidade mínima pistonado
V_O	Volume oco
V_P	Volume de uma partícula
V_S	Volume ocupado por um sólido
V_T	Volume total do leito
V_V	Velocidade superficial do fluido
V_2	Válvula de passagem de ar secundária
ΔP	Queda de pressão
ΔP_{MA}	Queda de pressão mínima para arraste
ΔP_{MB}	Queda de pressão mínima para borbulhamento
ΔP_{MF}	Queda de pressão mínima para fluidização
ρ	Densidade aparente
ρ_a	Densidade aparente de uma partícula
ρ_{ar}	Densidade do ar
ρ_F	Densidade do fluido
ρ_{H_2O}	Densidade da água
ρ_P	Densidade da partícula
\mathcal{E}	Porosidade de um leito ou partícula
\mathcal{E}_{MA}	Porosidade mínima de arraste
\mathcal{E}_{MF}	Porosidade mínima de fluidização
\mathcal{E}_{MB}	Porosidade mínima de borbulhamento
\mathcal{E}_1	Altura em determinado ponto no leito fixo
\mathcal{E}_2	Altura em determinado ponto no leito móvel
μ_f	Viscosidade do fluido
Φ_P	Esfericidade de uma partícula
π	Número irracional de Pi

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 FLUIDIZAÇÃO.....	16
2.1.1 Aplicações em Operações Industriais	17
2.1.2 Qualidade de Fluidização	18
2.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS FLUIDOS.....	18
2.2.1 Classificação dos Fluidos	19
2.2.2 Regimes de Escoamento	19
2.2.2.1 Fluxo Laminar.....	20
2.2.2.2 Fluxo Tampão.....	21
2.2.2.3 Fluxo Turbulento.....	21
2.3 LEITOS PARA FLUIDIZAÇÃO.....	21
2.3.1 Definição e Propriedades dos Sólidos	22
2.3.1.1 Propriedades dos Sólidos Granulares.....	22
2.3.1.2 Classificação de Geldart.....	24
2.3.2 Tipos de Leito	26
2.3.2.1 Leito Fixo.....	26
2.3.2.2 Leito Fluidizado.....	28
2.4 REGIMES DE FLUIDIZAÇÃO.....	29
2.4.1 Fluidização Particular e Agregativa	30
2.4.2 Histerese	33
2.4.3 Análise Gráfica do Método Queda de Pressão	34
3 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1 EQUIPAMENTO FLUIDIZADOR DIDATECH.....	37
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS LEITOS EXPERIMENTAIS.....	43
3.2.1 Determinação Experimental da Densidade das Partículas	43
3.2.2 Classificação de Geldart sobre Partículas do Leito	45
3.2.3 Formação dos Leitos Experimentais	45
3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	47
3.3.1 Procedimentos em Leitos Fluidizados com Água	47
3.3.2 Procedimentos em Leitos Fluidizados com Ar	48
3.4 TRATAMENTO DOS DADOS EXPERIMENTAIS.....	48
3.4.1 Elaboração de Gráficos das Curvas Experimentais	50
3.4.2 Equações Teóricas Aplicadas para Tratamento dos Dados	51

3.4.3	Elaboração de Gráficos das Curvas teóricas.....	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1	DENSIDADE DAS PARTÍCULAS.....	56
4.2	CLASSIFICAÇÃO DOS LEITOS POR GELDART.....	56
4.3	CURVAS EXPERIMENTAIS.....	56
4.3.1	Resultados Experimentais para Fluidização com Água.....	57
4.3.2	Resultados Experimentais para Fluidização com Ar.....	64
4.4	CURVAS TEÓRICAS.....	73
4.4.1	Curvas Teóricas para Fluidização com Água.....	74
4.4.2	Curvas Teóricas para Fluidização com Ar.....	76
5	CONCLUSÕES.....	78
6	PERSPECTIVAS.....	79
	REFERÊNCIAS.....	80
	ANEXO 1.....	82
	ANEXO 2.....	103
	APÊNDICE A.....	104
	APÊNDICE B.....	113

1 INTRODUÇÃO

A engenharia química obteve grande desenvolvimento a partir das modificações físicas dos produtos ou materiais utilizados na indústria química, englobando as operações unitárias nos processos. Com isso, a aplicação dessas operações unitárias nos processos, tornou-se vital na produção industrial, levando o engenheiro químico a obter vasto conhecimento na produção, economia, instrumentação, controle, tipos de processos inseridos e nas operações aplicadas ao processo desejado (SHREVE; BRINK, 1997).

Uma das principais operações unitárias aplicadas a processos químicos é o escoamento em leitos porosos, podendo ser de leito fixo, fluidizado ou borbulhante. De acordo com Vega e Matos (1998, p. 241), a primeira vez que a técnica de fluidização foi utilizada, no ano de 1921, na Alemanha, por Fritz Winkler, para gaseificar carvões de pequena granulometria. O escoamento em leitos porosos, denominados também como leitos fluidizados, ocorre em um tubo vertical, onde se colocam partículas sólidas sobre uma superfície perfurada, que serve de suporte para os particulados que se quer fluidizar. Faz-se passar no sentido ascendente um fluxo de um fluido qualquer. Quando a velocidade do fluido é pequena, o mesmo fluirá entre as partículas, a porosidade do meio permanece constante e as perdas de carga do sistema ficam inseridas, obedecendo as leis de fluxo através de meios porosos.

Segundo Tambourgi (1982), essas perdas de carga acarretam perda na eficiência do processo e transporte indesejado do particulado, assim, tendo a necessidade de colocar equipamentos adicionais ao leito fluidizado, como filtros coletores, podendo ocasionar um aumento de custo no projeto e na operação. À medida que a velocidade de fluxo do fluido aumenta, a diferença de pressão entre a parte inferior e superior do leito aumenta, porém, a porosidade do leito não muda. Quando as partículas começam a se agitar em sua posição, significa que a força da diferença de pressão causada pelo fluxo é igual ao peso aparente da partícula, iniciando a fluidização.

Atualmente, a técnica de fluidização é utilizada em vários processos na indústria que buscam uma mistura intensa entre sólidos e fluidos, proporcionando elevadas taxas de transferência de massa e calor. A fluidização é uma operação unitária tipicamente aplicada em processos químicos de adsorção, absorção, síntese e regeneração catalítica, combustão e gaseificação de carvão, entre outros. Em processos físicos, a operação é aplicada na secagem de sólidos particulados (craqueamento catalítico de hidrocarbonetos), aquecimento, resfriamento, congelamento, misturas (CREMASCO, 2018).

A determinação do tipo de fluxo requer conhecimento de distintas leis aplicadas ao movimento das partículas, troca de massa e energia entre as partículas do leito, o comportamento do fluido ao passar por um leito particulado, a porosidade e volume do leito. O conhecimento destes parâmetros é necessário para determinar: o regime de escoamento, altura do leito, velocidade mínima de fluidização e a porosidade mínima de fluidização.

A aplicação de experimentos em escala piloto é essencial nos projetos para prever o comportamento do processo, evitando desperdícios e principalmente ganho financeiro, tempo no desenvolvimento de projeto, diversificar cenários e até mesmo inserindo novas etapas no processo. Em uma planta piloto para fluidização, torna-se possível visualizar os possíveis regimes comportamentais de leitos em diferentes fluidos como água e ar. Pode-se aplicar diversificados cenários para formação de um leito, podendo-se alterar as propriedades químicas (partículas de diferentes materiais) e físicas (diâmetro, esfericidade, densidade e quantidade).

Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho consistiu em determinar o comportamento de leitos fluidizados em escala laboratorial e os objetivos específicos são:

- Analisar as características das partículas do leito.
- Determinar parâmetros de mínima fluidização (V_{MF} , ϵ_{MF} , ΔP_{MF} e H_{MF}).
- Elaborar curvas comportamentais teóricas e experimentais dos leitos com análise comparativa.
- Determinar o regime de fluidização nos respectivos leitos e fluidos.
- Determinar experimentalmente o intervalo de fluidização homogênea.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção, serão revisados conceitos relacionados à fluidização, propriedades dos elementos que compõe a operação, e mais especificamente, relatando os tipos de regimes e variáveis que compõe o atual estudo.

2.1 FLUIDIZAÇÃO

A fluidização é o fenômeno pelo qual um gás ou líquido, ao realizar uma passagem ascendente por uma coluna contendo partículas sólidas (leito), faz com essas fiquem em suspensão, com o conjunto passando a se comportar de maneira semelhante a um fluido (KUNII; LEVENSPIEL, 1991). Quando um fluido passa através de um leito de partículas e essas fluidizam, o sistema sólido-fluido atinge regimes de fluidização dependentes das propriedades das partículas e da velocidade do fluido que escoar através do leito.

De acordo com Kunii e Levenspiel (1991), a fluidização usada em leitos para operações industriais possui algumas vantagens e desvantagens. As vantagens são:

- Adequada para operações que necessitam de uma alta eficiência na conversão de combustíveis para geração de energia;
- Alta transferência de calor entre o gás, as partículas e qualquer objeto imerso (trocadores de calor). Assim sendo, um equipamento mais compacto;
- As operações podem ser controladas de maneira contínua e com facilidade de manuseio, devido à presença de um escoamento uniforme de partícula e fluido;
- Em virtude da fácil mistura dos sólidos, as condições geralmente são isotérmicas;
- Ausência de peças móveis;

Entretanto, as desvantagens segundo Kunii e Levenspiel (1991) e Mosken (2020) são:

- Erosão de orifícios, colunas e tubos imersos devido à abrasão ocasionada pelos sólidos;
- A uniformidade na temperatura e no rendimento é comprometida quando a rápida mistura de sólidos gera tempos de variáveis no leito;
- Em leitos fluidizado borbulhantes com partículas de sólidos friáveis que são pulverizados e arrastados;
- Baixo rendimento em operações com alta vazões e leitos borbulhantes;

- Necessidade de reposição do leito no decorrer da operação ou após um intervalo de tempo.

2.1.1 Aplicações em Operações Industriais

Na década de 20, o alemão Fritz Winkler percebeu, através de experimentos, que ao colocar gases provenientes de combustão dentro de um compartimento, no qual continha partículas de coque, ocorria a fluidização, criando assim a primeira demonstração da gaseificação de carvão em um leito fluidizado (BASU, 2006).

Sabe-se que a partir dessa época citada acima, a tecnologia para leitos fluidizados foi utilizada de maneira mais expressiva na indústria química e de petróleo. Porém, somente a partir da década de 1970 ela passou a ter um reconhecimento mais significativo, e posteriormente, nas décadas de 1980 e 1990, surgiu um interesse maior na utilização de leito fluidizado em instalações que necessitassem de geração de energia, por ser uma tecnologia mais limpa que as convencionais da época, e por possuir uma alta flexibilidade na utilização de diversos tipos de combustíveis (BASU, 2006).

A tecnologia da fluidização tem sido amplamente utilizada, tendo como destaque o seu uso em caldeiras. No processo de combustão em leito fluidizado, o combustível é queimado em ambiente com intenso contato gás-sólido, gerando calor útil. A fornalha de caldeira operada com leito fluidizado contém uma massa granular de sólidos constituído por partículas que geralmente variam de tamanho na faixa de 100 a 1000 μm (PERRY; GREEN, 2008).

O processo de gaseificação, onde é inserido um composto orgânico e é realizado a conversão do mesmo em um combustível gasoso, é uma operação complexa em que o próprio gaseificador possui etapas em sua coluna, dependendo do seu leito, onde ocorrem diversos tipos de reações, como oxidação, pirólise e craqueamento (MELO, 2008).

Mosken (2020) cita que nos dias atuais, a fluidização é aplicada em diversos setores da economia global, como o setor alimentício (utilizada na torrefação do café), metalúrgico no processo de pelletização (auxilia em processos posteriores aglutinando partículas de minérios), entre outros.

De acordo com Zhang, Brandani, Bi e Jiang (2008), afirmam que os leitos fluidizados sólido-gás são muito aplicáveis na indústria química e em processos físicos devido às suas propriedades de aplicação operacional, como os processos com leito fixo serem considerados operações que ocorrem em condições isotérmicas. A operação também é reconhecida por possibilitar excelente transferência de calor e massa, ter a

possibilidade de aplicação em um processo contínuo, maximizando a eficiência dos processos e possibilitando a obtenção de produtos específicos.

2.1.2 Qualidade de Fluidização

A operação de fluidização é considerada eficiente quando as condições de operação, durante o seu processo, são mantidas de maneira estável. A operação possui diversas variáveis de perturbações como o diâmetro da partícula, porosidade, composto do material, as propriedades do fluido que irá escoar pelo leito, o próprio sistema escolhido, entre outros. Em sistemas sólido-gás por exemplo, sofre-se maiores interferências das variáveis que dependem do leito, em que partículas finas tendem a se aglomerar e até possuir interação entre as mesmas. Para evitar esse cenário, pode-se aplicar mecanismos, como vibradores (OLIVEIRA, 2012).

Oliveira (2012) e Vega e Matos (1998) citam que quanto maior a uniformidade das partículas, maior será a estabilidade e premeditação do sistema. Partículas finas possuem uma grande aplicação e uma ampla faixa de vazões de trabalho com o gás, podendo flexibilizar e melhorar condições de operação (finos podem atuar como lubrificantes de leitos e renovação de leitos filtrantes). Já os leitos constituídos de partículas grandes possuem uma faixa de trabalho pequena, logo, as aplicações com essas características são raras e seus leitos devem ser rasos. O fator entre as densidades das partículas e do fluido com valores distintos extremos, ocasionando uma fuga do regime esperado.

Kunii e Levenspiel (1991) citam outros fatores causadores de interferências para uma baixa qualidade durante o processo de fluidização, como as características das partículas de porosidade ao se manterem estáveis quando estiverem suspensas no fluido, afinidade às reações químicas, dureza, a geometria do leito e o distribuidor de fluido presente na base da coluna.

2.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS FLUIDOS

De acordo com Terron (2012), um fluido é definido como toda e qualquer substância que sofre deformação contínua ao ser submetida à uma tensão de cisalhamento. Os fluidos são aplicados em diversos processos físicos, químicos e na engenharia química, com infinitas possibilidades de combinações e aplicações de substâncias nas operações, torna-se imprescindível o estudo de suas propriedades para conhecer comportamento de escoamento. Entre as mais importantes e conhecidas

propriedades dos fluidos está a viscosidade, a qual considera a capacidade de deslocamento que um fluido possui ao sofrer uma força (deformação de cisalhamento).

2.2.1 Classificação dos Fluidos

Newton estabeleceu a lei da viscosidade, na qual considera que um fluido apenas se desloca quando sofre uma força externa, logo, o mesmo não possui capacidade de regressão voluntária ao estado inicial (TERRON, 2012).

De acordo com Bird, Stewart e Lightfoot (2002), os fluidos podem ser classificados de acordo com suas características comportamentais quando sofrem a aplicação de uma pressão externa, podendo ser:

- Compressíveis: quando o fluido altera sua densidade ao fluir por um duto.
- Incompressíveis: quando a densidade se mantém constante no decorrer do fluxo.

Outra forma de classificar um fluido é através das características de fricção entre fluido e o meio aonde o fluido está em contato, podendo ser classificados como:

- Ideais: as forças de cisalhamento e fricção são desprezadas.
- Reais: quando há um fluxo de fluido, as forças de cisalhamento e fricção são consideradas, ocasionando queda de pressão no sistema.

De acordo com a lei da viscosidade citada anteriormente, o fluido pode ser classificado como sendo:

- Newtoniano: quando a viscosidade se comporta em proporcionalidade à força aplicada ao fluido.
- Não-Newtoniano: quando o fluido não cumpre a lei citada e a viscosidade é uma função do gradiente de velocidade (sofre variação no decorrer do fluxo). Os fluidos comportamentais Não-Newtonianos mais conhecidos são denominados Plásticos de Bingham, Pseudoplásticos e Dilatantes.

2.2.2 Regimes de Escoamento

Pelas suas características reológicas, os fluidos podem ser classificados pelo seu comportamento sobre elevadas pressões, ou por suas características de fricção, ou por suas características reológicas, podendo ser fluidos newtonianos, onde existe uma relação linear entre o esforço cortante aplicado e a velocidade de deformação resultante, e os não newtonianos, onde não há relação linear (VEGA; PUYANS, 2006).

Reynolds demonstrou que a densidade do fluido, a viscosidade, a velocidade e o diâmetro do tubo determinam as características reológicas, e a partir da Equação 01, denominada como número de Reynolds (VEGA; MATOS, 1998).

$$Re = \frac{D_p \cdot V \cdot \rho}{\mu} \quad (01)$$

Sendo o valor de Reynolds aplicado na fluidização, Re menor que 40, o fluxo é considerado laminar. O regime é considerado turbulento quando Re é maior ou igual 40.

2.2.2.1 Fluxo Laminar

De acordo com Machado (2002), as camadas de fluido se deslocam sem que ocorra mistura macroscópica, paralelas ao escoamento, formando linhas de corrente. No interior de tubos circulares, a distribuição de velocidade é parabólica, quando se atinge o estado estacionário, assim, a velocidade máxima que o fluido possa ter, encontra-se no centro do tubo, determinada pela Equação 02.

$$V_{máx} = \frac{(-\Delta P) \cdot R^2}{4 \cdot \mu_f \cdot H} \quad (02)$$

Sendo ΔP a diferença de pressão entre os pontos analisados, R o raio da tubulação, no caso uma coluna, μ_f a viscosidade do fluido e H a altura do leito, a distância entre os pontos analisados.

Para um fluxo constante, esse valor de fluxo, adota-se como velocidade média, que pode ser calculada pela Equação 03.

$$\bar{V} = \frac{(-\Delta P) \cdot R^2}{8 \cdot \mu_f \cdot H} \quad (03)$$

Para que se tenha um valor teórico da queda de pressão na coluna, isola-se ΔP da Equação 03 e chega-se à Equação 04 em função do diâmetro da tubulação D , mais conhecida como equação de Hagen-Poiseuille:

$$(-\Delta P) = 32 \frac{H \cdot \bar{V} \cdot \mu_f}{D^2} \quad (04)$$

2.2.2.2 Fluxo Tampão

Definido como um caso particular do escoamento laminar, onde o fluxo próximo à tubulação, apresenta deslizamento relativo entre suas camadas, porém, não apresenta deslocamento relativo no centro do escoamento, comportando-se como um corpo sólido. Apenas deve acontecer em fluidos não-ideais, não-newtonianos (misturas pastosas, argila, polímeros em água). Em um tubo cilíndrico, o gradiente de velocidade é alto próximo às paredes e nulo na região central (MACHADO, 2002).

2.2.2.3 Fluxo Turbulento

Ainda segundo Machado (2002), esse escoamento se caracteriza pelo movimento caótico do fluido ao longo do canal do fluxo. Os turbilhões provocam mistura entre as camadas, sendo que a velocidade de um ponto, oscila em torno de um valor médio.

De acordo com Vega e Puyans (2006), a maioria dos problemas existentes nas indústrias, são com fluxos turbulentos, com número de Reynolds maior que 2100. Com o movimento caótico, a velocidade do fluido muda com menos rapidez, comparado ao laminar. O perfil de velocidade se diferencia da parabólica (laminar), onde a curva é consideravelmente mais achatada, assim, a relação entre a velocidade média e a máxima no fluxo tubular é maior.

2.3 LEITOS PARA FLUIDIZAÇÃO

Processos de fluidização possuem uma grande aplicação na indústria química e dentro da modelagem de operação, pode-se utilizar diversas combinações entre leitos e fluidos. Essas operações são basicamente constituídas de partículas esféricas ou quase esféricas, que são aplicadas à sua fase dispersa para realizar cálculos em processos, como destilação, extração além de decantação e fluidização que são processos ou reações ligadas às áreas superficiais das partículas (DELANCEY, 2012).

De acordo com Terron (2012), esse aglomerado de partículas normalmente é formado por um vaso (tubo cilíndrico, chamado de coluna), que o mesmo é responsável por dar forma ao regime de escoamento. As propriedades das partículas estão ligadas diretamente em melhorar o contato entre fluido e sólido.

Oliveira (2012) cita diversas formações de leitos (binários) com partículas que possuem o mesmo diâmetro, mas com diferentes densidades, assim como, leitos que possuem partículas com a mesma densidade e diferentes diâmetros e leitos com partículas de diferentes tamanhos e densidades.

2.3.1 Definição e Propriedades dos Sólidos

Para uma classificação de materiais sólidos, é necessário agrupá-los de acordo com o tamanho de suas partículas. Esta operação possui grande importância e aplicações diversas na indústria química e alimentícia. A separação das partículas possui aplicação na indústria de cimento, onde é necessário obter partículas que possuam maior superfície específica, facilitando a troca térmica (VEGA; MATOS, 1998).

Vega e Matos (1998) ainda cita os principais métodos para se obter partículas granulares com tamanhos específicos, como operações de moagem, peneiração ou separação hidráulica e pneumática.

2.3.1.1 Propriedades dos Sólidos Granulares

Os sólidos granulares, compostos de grãos ou pedaços, possuem propriedades que são independentes do seu estado granular, como a densidade das partículas, esforço de ruptura por compressão, dureza, módulo de elasticidade, entre outras. Por outra parte apresentam propriedades como a densidade aparente, porosidade, superfície específica, entre outras, que dependem do seu estado de agregação (VEGA; MATOS, 1998).

a) Densidade Aparente

Segundo Cremasco (2018) Melo (2008) e Vega e Puyans (2006) a densidade aparente (ρ) é a massa (m) correspondente à unidade de volume (V) ocupado pelo sólido, expressada pela Equação 05, sendo que a densidade aparente sempre será menor que a densidade das partículas.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (05)$$

b) Densidade da Partícula

De acordo com Vega e Matos (1998) e Melo (2008), a densidade da partícula, também denominada densidade real (ρ_p), é a razão entre massa (m) da partícula e volume ocupado (V_p), ou seja, não leva em consideração os poros, o volume oculto que essa partícula possui, podendo ser definida pela Equação 06:

$$\rho_P = \frac{m}{V_P} = \frac{m}{V_a - V_O} \quad (06)$$

Sendo, V_a a unidade de volume hidrodinâmico da partícula, V_O é o volume oco que a partícula possui.

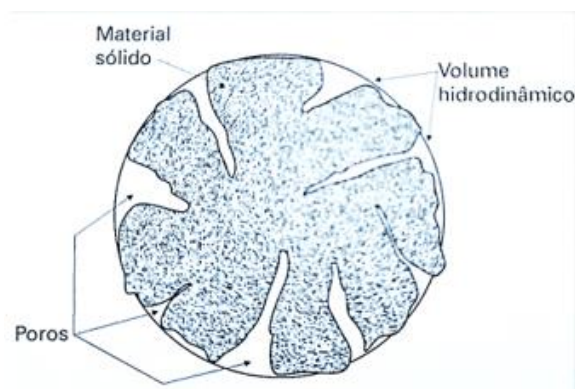
c) Porosidade

A porosidade de uma partícula determina a fração de volume oco que aquela partícula possui em relação ao seu volume total, representado na Figura 1. De acordo com Vega e Matos (1998), a porosidade de uma partícula pode ser determinada pela Equação 07.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_P} \quad (07)$$

Tal que, ε é a porosidade, ρ_a é a densidade aparente da partícula, ρ_P é a densidade da partícula.

Figura 01 – Representação de volumes e poros em uma partícula.

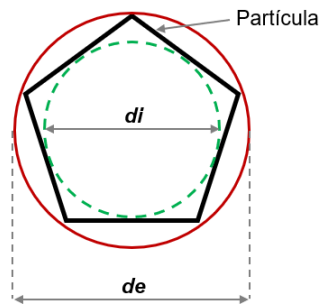


Fonte: Terron, 2012, p.318.

c) Esfericidade

De acordo com Melo (2008), a esfericidade é razão entre o diâmetro interno (d_i) de uma circunferência perfeita que uma partícula pode formar e o diâmetro externo (d_e) de uma circunferência perfeita que a mesma partícula forma, podendo ser ilustrada pela Figura 02.

Figura 2 – Representação dos diâmetros (d_i e d_e) em uma partícula.



Fonte: Própria (2022).

A Equação 08 pode expressar o valor da esfericidade de uma partícula.

$$\Phi_P = \frac{d_i}{d_e} \quad (08)$$

Tal que, d_i é o diâmetro da circunferência interna da partícula e d_e é o diâmetro da circunferência externa da partícula.

d) Diâmetro da Partícula

O diâmetro das partículas está diretamente ligado à sua forma. Caso a partícula seja uma esfera perfeita ($\Phi_P=1$) ou uma partícula cúbica, o diâmetro da partícula será o tamanho da mesma, podendo-se obter seu valor pelo volume da partícula, dado pela Equação 09 para uma esfera (VEGA; MATOS, 1998, p.29).

$$V_a = \frac{D_P^3}{6} \quad (09)$$

Tal que, V_a é o volume hidrodinâmico da partícula e D_P o diâmetro da partícula.

2.3.1.2 Classificação de Geldart

A utilização da classificação para os sólidos de Geldart é bastante útil e simples para a transição e prever diferentes modos de fluidização. A classificação foi obtida por observações de fluidizações de vários tipos e tamanhos de sólidos, assim, Geldart sugeriu quatro tipos de comportamento de partículas, através do diâmetro das partículas que formam o leito e com diferença entre as densidades aparentes do fluido e das partículas aplicadas (MARINI, 2008).

a) Grupo A: são sólidos bastante estudados devido sua preferência de aplicação em leitos fluidizados de processos com reatores catalíticos (MARINI, 2008).

Esse grupo de partículas possui fácil fluidização em gases e sofre considerável expansão do leito antes do aparecimento de bolhas no mesmo, isso é, possui um intervalo considerável entre o início de fluidização particular até o aparecimento de bolhas. (FELIPE, 2004; MARINI, 2008; MELO, 2008).

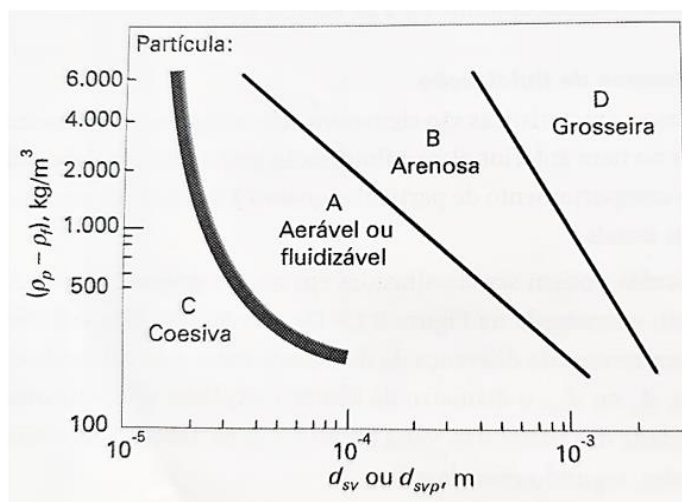
Felipe (2004) complementa, informando que normalmente são partículas com tamanho aproximado de 80 μm e densidade aparente menor ou igual a 1.400 kg/m^3 .

b) Grupo B: são sólidos semelhantes à areia, com densidade aparente entre 1.400 a 4.000 kg/m^3 e tamanho entre 40 a 500 μm (FELIPE, 2004; MARINI, 2008). Em contraste com os grupos C e A, as forças entre as partículas são desprezadas e as bolhas aparecem no ponto de mínima fluidização ou logo após. O tamanho das bolhas formadas é diretamente correlacionado com o incremento da velocidade do fluido. Já em relação ao diâmetro das partículas, não possuem relação (MARINI, 2008; FELIPE, 2004).

c) Grupo C: possuem uma fluidização extremamente difícil, são partículas muito finas com diâmetro menores que 20 μm , sendo que para leitos com colunas de diâmetros pequenos, os sólidos tendem a subir como pistão, e há canalização do fluido quando os diâmetros da coluna são maiores, sem que ocorra fluidização. Essa impossibilidade ocorre devido às forças interparticulares serem maiores que as forças hidrodinâmicas. Normalmente são utilizadas como catalisadores em processos químicos e como a força entre as partículas é maior do que a que o gás exerce sobre o leito, uma solução para obter uma fluidização é a adição de partículas maiores em seu leito (OLIVEIRA, 2012; TERRON, 2012).

d) Grupo D: normalmente utilizadas em leitos de jorro profundos (leitos de difícil fluidização), pois são formados por partículas grandes e/ou densas com diâmetro maiores que 1 mm. Produzem muitas canalizações nos leitos e grandes bolhas, necessitando de grande fluxo de fluido para fluidização. Os leitos formados com essas partículas, possuem características de formar fluxo pistonado (bolhas com diâmetro igual ao diâmetro do fluidizador (FELIPE, 2004; MARINI, 2008; TERRON, 2012).

Figura 03 – Gráfico da classificação de Geldart.



Fonte: Terron, 2012 p.340.

2.3.2 Tipos de Leito

Os leitos para fluidização possuem diversas configurações possíveis de acordo com a finalidade da operação. Além das características das partículas, já citadas, pode-se configurar um leito de acordo com o tamanho das partículas além de realizar mesclas de materiais (OLIVEIRA, 2012).

Em leitos com mistura binária, o leito é composto por partículas de densidades diferentes, podendo ter ou não diâmetros semelhantes. Em um leito, partículas com densidades diferentes e tamanhos semelhantes, possui uma maior segregação dessas partículas do que em relação a leitos com mesma densidade, porém de tamanhos diversos (KUNNI; LEVENSPIEL, 1991).

Dentro das diversas utilidades em processos, pode-se citar os leitos mais aplicados o de leito fixo, leito empacotado, leito fluidizado, leito de jorro e leito gotejante (TERRON, 2012).

2.3.2.1 Leito Fixo

Segundo Terron (2012), as partículas estão fixas e os fluidos escoam pelo leito. Leito fixo é um termo genérico que pode caracterizar um reator (reator de leito fixo), um secador (secador de leito fixo), uma coluna cromatográfica (de leito fixo).

A porosidade de um leito depende do grau de compactação que o leito possui. Em operações em que há atuação de uma pressão externa sobre um leito com partículas não muito pequenas, a porosidade se mantém praticamente constante, ao contrário de

partículas muito pequenas, que irão se rearranjar entre as mesmas, quando recebem alguma pressão (VEGA; MATOS, 1998).

Terron (2012) cita que a porosidade de um leito composto de partículas sólidas, pode ser definida pela fração entre o espaço vazio entre as partículas que compõe o leito e o volume total do respectivo leito. Essa porosidade depende diretamente do grau de compactação dessas partículas, podendo ser definida pela Equação 10, em que V_T é o volume do leito e V_P o volume das partículas.

$$\varepsilon = \frac{V_{VAZIO}}{V_{TOTAL LEITO}} = \frac{(V_T - V_P)}{V_T} = 1 - \left(\frac{V_P}{V_T}\right) \quad (10)$$

De acordo com Kunii e Levenspiel (1991), se um fluido passa de forma ascendente através de um leito constituído por finas partículas e esse fluido passa em baixa vazão, o mesmo transita através dos espaços vazios das partículas, a velocidade superficial pode ser obtida pela Equação 11, em que V_V é a velocidade superficial do fluido, Q a vazão de fluido e A é a área da seção da coluna onde está inserido o leito.

$$V_V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(\pi \cdot D^2 / 4)} = \varepsilon \cdot V_L \quad (11)$$

Em que D é o diâmetro interno da coluna cilíndrica, ε é a porosidade do leito e V_L a velocidade média intersticial no leito.

Em um regime de leito fixo, quando o fluido passa pelas partículas a queda de pressão aumenta com o incremento da velocidade superficial do líquido. Essa perda de carga em um escoamento laminar, onde predominam as forças viscosas em leitos fixos foram estudadas por Kozeny-Carman é demonstrada pela Equação 12. Para um escoamento turbulento, quando as forças inerciais são as mais relevantes no sistema, foi estudado por Burke-Plummer, que elaboraram a Equação 13. Após Ergun estudar a equação para uma ampla aplicação nos sistemas, propôs a junção das equações, passando a ser denominada e utilizada como Equação 14 de Ergun. (LI, 2012; TERRON, 2012).

Segundo Kunii e Levenspiel (1991), Albright (2008) e Cremasco (2018), a queda de pressão em leito fixo, é proporcional ao incremento da velocidade superficial.

$$\Delta P = \frac{150 \cdot \mu_f \cdot H \cdot V_V (1 - \varepsilon)^2}{D_p^2 \varepsilon^3} \quad (12)$$

$$\Delta P = \frac{1,75 \cdot \rho_f \cdot H \cdot V_V^2 (1 - \varepsilon)}{D_p \varepsilon^3} \quad (13)$$

$$\frac{\Delta P}{H} = \frac{150 \cdot \mu_f \cdot V_V (1 - \varepsilon)^2}{\Phi_p^2 \cdot D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1,75 \cdot \rho_f \cdot V_V^2 (1 - \varepsilon)}{\Phi_p \cdot D_p \varepsilon^3} \quad (14)$$

Tal que, para as Equações 12, 13 e 14, ρ_f é a densidade e μ_f a viscosidade do fluido que escoar entre as partículas, H é a altura respectiva ao ponto a ser calculada a queda de pressão, assim como a porosidade (ε) e a velocidade superficial (V_V), D_p é o diâmetro média das partículas que compõe o leito e Φ_p é a esfericidade da partícula.

2.3.2.2 Leito Fluidizado

Terron (2012) e Cremasco (2018) determina que quando a velocidade superficial do líquido é incrementada, o leito inicia uma expansão constante no sentido do fluxo, (as partículas começam a ficar suspensas no líquido). Nesse momento, em que todas as partículas estão suspensas, a força de atrito entre as partículas e o fluido contrabalança o peso das partículas, a componente vertical da força de compressão entre as partículas adjacentes não atua mais, e a perda de carga em qualquer ponto do leito é igual ao peso do fluido e das partículas, considera-se um leito à mínima fluidização.

Li (2012) e Albright (2008) ainda resumem citando que, no momento quando forças presentes no sistema (força de arraste do fluido é igual força gravitacional das partículas) são iguais, considera-se o início da fluidização com o melhor rendimento e a velocidade superficial do líquido neste ponto é chamada de velocidade mínima de fluidização (V_{MF}).

Kunii e Levenspiel (1991) cita que o ponto mínimo ou crítico para fluidização, o leito fixo perde as sobreposições de força, ocasionando uma diminuição na queda de pressão do leito.

Li (2012) e Mosken (2020) complementa que após o ponto de mínima fluidização, dependendo do fluido aplicado, pode-se obter dois tipos de comportamentos:

- i. O leito continua a se expandir, porém a distância média entre as partículas se torna grande e sem uma direção certa, ou:
- ii. Um excesso de fluido passa pelo leito em forma de bolhas.

Essas fluidizações são chamadas de particulada e agregativa respectivamente.

A partir do equilíbrio de forças, no momento em que o leito se torna fluidizado, de acordo com Terron (2012), a perda de carga do sistema é igual ao peso aparente das

partículas por unidade de área, podendo ser determinada pela Equação 15 de balanço de forças.

$$\frac{\Delta P}{H} = (\rho_P - \rho_F) \cdot (1 - \varepsilon) \cdot g \quad (15)$$

Em que, H é a altura do leito e ε a porosidade correspondente à altura, ρ_P a densidade das partículas, ρ_F a densidade do fluido e g a aceleração da gravidade.

Nas indústrias, há uma diversa aplicação de manômetro para a obtenção de valores de pressões aplicadas pelos fluidos. Em uma coluna de fluidização, aplica-se mensurações de pressão no topo e na base do equipamento. Na engenharia, devido às diversas aplicações e tipos de equipamentos, a Equação 16 determina a magnitude de pressão em função de uma coluna com líquido (normalmente se utiliza água ou mercúrio).

$$P = g \cdot \rho \cdot \Delta P \quad (16)$$

Sendo g a aceleração gravitacional, ρ a densidade da água e ΔP a queda de pressão em mmH₂O registrado no manômetro.

Creiasco (2018) e Vega e Matos (1998) cita que a medida que a vazão do fluido aumenta, a altura do leito aumentará, assim como a porosidade. A relação entre altura e porosidade está demonstrada de acordo a Equação 17, que é obtida considerando que a quantidade de partículas é constante (não há retirada de partículas em uma fluidização com leito fixo e fluidizado).

$$H_1 \cdot (1 - \varepsilon_1) = H_2 \cdot (1 - \varepsilon_2) \quad (17)$$

Sendo que, H_1 é a altura do leito fixo, ε_1 porosidade do leito fixo, H_2 a altura em qualquer ponto do leito (sendo $H_2 > H_1$) e ε_2 a porosidade do leito no ponto H_2 .

2.4 REGIMES DE FLUIDIZAÇÃO

As operações de transferência de massa e calor e podem ser identificadas aumentando-se o grau de turbulência da fase líquida, grau esse que pode ser feito pelo aumento de velocidade superficial do fluido pelo leito de partículas. Se em um tubo qualquer for inserida uma partícula sólida e no mesmo tubo passa um fluxo de

ascendente, tal que esse fluxo provoque sobre a partícula uma força de arraste igual ao peso da partícula, assim a partícula ficará suspensa no fluxo (SANTOS, 2019).

Ainda Marini (2008) e Felipe (2004), descrevem que caso o diâmetro da partícula seja muito pequeno em relação ao diâmetro do tubo, a velocidade do fluxo será igual a velocidade de decomposição no mesmo fluido, também chamada de velocidade de arraste. Um pequeno aumento do fluxo, faz com que a velocidade seja superior ao peso da partícula, ocasionando o arraste dessa partícula.

Ao colocar-se um conjunto de partículas no tubo, a corrente irá possuir uma pseudo velocidade, tal que a velocidade real do fluido entre as partículas seja igual a velocidade de decomposição, assim obtendo uma capa de partículas suspensas em movimentos aleatórios, caracterizando um regime fluidizado (MARINI, 2008; VEGA e MATOS, 1998).

A principal característica desse sistema é a mistura existente em ambas as partes: as partículas se movimentam de forma rápida e aleatória em todo volume da capa, misturando-se, e o fluido em relação a turbulência de seu movimento. As partículas pequenas, possuem maior superfície de contato, facilitando a troca de energia e entre as espécies químicas (VEGA; MATOS, 1998).

2.4.1 Fluidização Particular e Agregativa

De acordo com Felipe (2004), no que se caracteriza uma fluidização particular, a parte sólida possui distribuição uniforme em todo o volume do leito e o líquido flui entre os espaços fornecidos entre as partículas. Sistema observado geralmente em sistemas sólido-gás e sólido-líquido. Os comportamentos dos dois sistemas são diferentes a partir do ponto de mínima fluidização.

CreMASCO (2018) e Torren (2012) cita que um sistema de fluidização sólido-gás é caracterizado pela grande diferença de densidades, em comparação a densidade de um líquido. Ao atingir o ponto mínimo de fluidização particular e a vazão ainda sofrer incrementos progressivos, instantaneamente o leito inicia a forma bolhas.

Quando a fluidização trabalha com a formação de bolhas, denomina-se fluidização agregativa (independentemente do fluido aplicado), onde se observa dois tipos de regimes comportamentais (VEGA; MATOS, 1998).

Vega e Matos complementa citando, quando grandes partículas (superiores a 0,2 mm) são inseridas em um sistema sólido-gás, há formação de bolhas com mínima concentração de sólido, ou seja, grandes partículas ocasionam maior turbulência ao sistema em comparação pequenas partículas (menores que 40 μm).

Segundo Cremasco e Vega e Matos (1998), uma fluidização sólido-líquido é caracterizada por possuir uma pequena diferença entre as densidades do sólido e do líquido, em comparação à densidade de um gás. Com o incremento da vazão, após o início da fluidização particular, o leito tende a formar conglomerados e conseqüentemente canais por onde escoam a maior parte do fluido, ocasionando uma menor superfície de contato e prejudicando o processo, até que, após certo intervalo de incrementos na vazão do fluido, o sistema inicia uma fluidização turbulenta (fluidização agregativa).

Vega e Matos (1998) define a viscosidade do leito como sendo uma propriedade do mesmo que auxilia na transferência da quantidade de movimentos no sistema, ou seja, a viscosidade do leito aumenta com o tamanho e a densidade das partículas.

A Figura 04 ilustra os diferentes regimes comportamentais observados em leitos fluidizados. Conforme Felipe (2004) e Marini (2008), quando um líquido ou gás flui de forma ascendente, com uma vazão baixa, esse fluido passa por um leito de partículas finas, ou seja, o fluido escoam entre os espaços cedidos na acomodação das partículas. Logo, o peso e a força de fricção das partículas serão maiores que a força da velocidade de arraste. As partículas terão uma pequena vibração e movimentações em regiões restritas, caracterizando um leito fixo Figura 04 (a). Quando a vazão atinge um valor em que todas as partículas fiquem suspensas pelo fluxo (força de arraste exercida pelo fluido sobre as partículas é igual ou maior que o peso da partícula), a componente vertical das forças compressivas entre as partículas desaparece, a partir desse momento o leito é considerado fluidizado Figura 04 (b). Um sistema fluidizado ideal para a finalidade do processo é estável e homogêneo, sem formação de bolhas, e com distribuição espacial uniforme, tendo o fenômeno de expansão regular, denominado fluidização particulada Figura 04 (c). Com o aumento da vazão, observa-se uma grande instabilidade no sistema, com a formação de bolhas, caracterizando um regime agregativo ilustrado na Figura 04 (d).

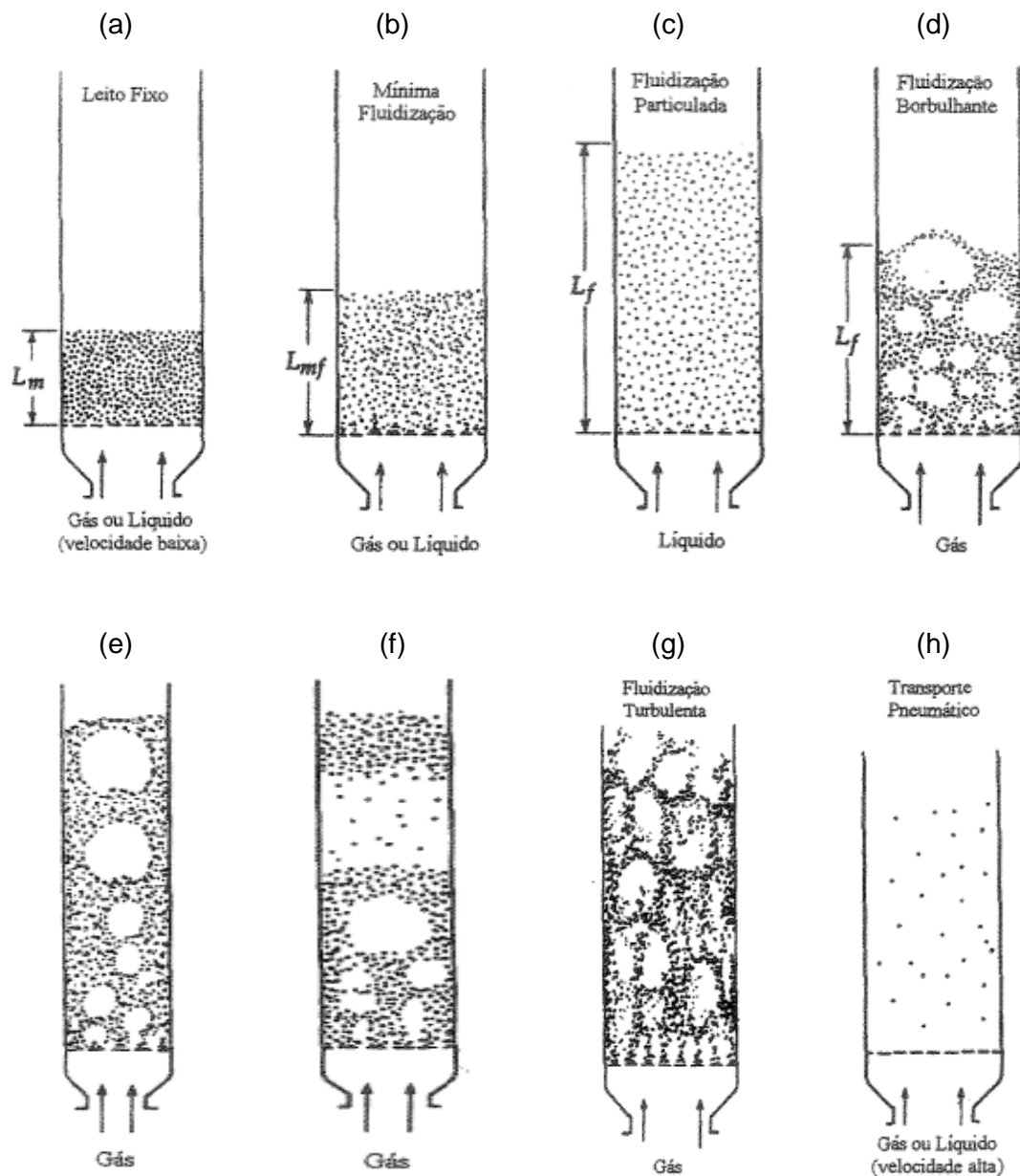
Rodriguez (2021) define como regime borbulhante, quando o leito possui formações de bolhas, as taxas de velocidade do fluido são incrementadas em um intervalo de tempo e o leito mantém a sua altura.

Outra forma de observar o regime borbulhante, conforme Mosken (2020), necessário ultrapassar a velocidade mínima de fluidização e chegar na velocidade mínima de borbulhamento (quando o incremento da velocidade ainda é realizado e a queda de pressão no leito se mantém constante). Doraiswamy (2014) complementa que a velocidade mínima de borbulhamento (V_{MB}) pode ser adquirida instantaneamente logo após a velocidade mínima de fluidização (V_{MF}) ou após certo incremento, a depender do sólido e líquido aplicados.

A partir de uma maior elevação da vazão, os bolsões de ar tornam-se cada vez maiores Figura 04 (e) e Figura 04 (f), atingindo o estado turbulento de fluidização, e as bolhas de ar são predominantes no sistema, conforme Figura 04 (g). Rodriguez (2021) complementa que um regime turbulento impossibilita a observação da altura.

A Figura 04 (h) ilustra o estado de arraste das partículas, onde ocorre o transporte pneumático.

Figura 04 – Regimes observados em uma operação de fluidização.



Fonte: Felipe, 2004, p. 8.

2.4.2 Histerese

Histerese é um efeito de retardado sobre um resultado esperado devido uma resistência, como a força de atrito. Em controle de processos, pode-se citar como exemplo de histerese, uma mudança de sinal antes de que seja feita a devida movimentação. Em processos industriais que utilizam aquecimento e resfriamento de materiais, denomina-se Histerese quando um corpo é aquecido e depois resfriado através da mesma taxa de transferência de temperatura, porém, a taxa de resfriamento é diferente da taxa de aquecimento (SCHASCHKE, 2014).

Perry e Green (2008) cita um comportamento em um leiteo gotejante e associa à possível histerese, uma vez que o sistema é mantido por um fluxo crescente de um líquido, e quando a vazão desse líquido é diminuída, o gotejamento se mantém constante.

Albright cita que a histerese na adsorção é conhecida como a divergência entre captação e liberação térmica, devido à diferença de mecanismo entre enchimento e esvaziamento dos poros das partículas que fazem parte do processo.

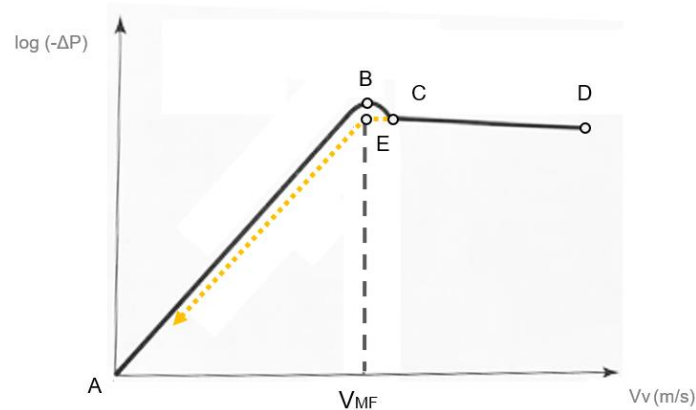
Na fluidização, dependendo das características das partículas que compõe o leiteo, as mesmas podem interagir entre si, gerando um efeito inesperado, resultando em uma queda de pressão mais acentuada no ponto mínimo de fluidização. Treybal (1981) ainda cita que esse efeito depende da interação entre as propriedades do fluido com o leiteo, principalmente quando há grande diferenças entre as densidades do fluido e do leiteo.

Em leiteos particulados, aplica-se uma histerese de grande relevância, principalmente em operações de fluidização que utilizam líquido como fluido e possuem colunas de fluidização altas. Essa histerese oriunda do efeito que o peso do líquido exerce sobre o leiteo, fazendo com que as partículas fiquem compactadas. Para minimizar os efeitos da histerese em leiteos, necessário evitar a não utilização do sistema por grandes intervalos de tempo (VEGA; MATOS, 1998).

Durante a fluidização, pode-se comprovar o efeito da histerese através do decréscimo no valor da queda de pressão no ponto de mínima fluidização. Conforme a Figura 05, as etapas comportamentais que a operação possui no incremento da velocidade superficial no leiteo (ABCD) é diferente do caminho que há o decréscimo (DCEA).

Kunii e Levenspiel (1991) complementa que esse efeito pode ser observado quando a operação possui partículas com grandes diâmetros ($D_p > 1\text{mm}$).

Figura 05 – Comportamento da queda de pressão em função da velocidade superficial.



Fonte: Própria (2022).

2.4.3 Análise Gráfica do Método Queda de Pressão

Com a elaboração do gráfico da queda de pressão em função da velocidade superficial (Figura 06), de acordo com Terron (2012) e Vega e Matos (1998), a medida que a velocidade superficial (V_v) é incrementada, a perda de carga aumenta (curva ligada pelos pontos AB). O ponto B é caracterizado como o ponto em que a força de arraste se iguala ao peso das partículas, originando vibrações nas mesmas. A porção AC se caracteriza como uma fluidização de leito fixo, uma vez que o ponto C é considerado o ponto crítico para início da fluidização, atingindo um pico de queda de pressão no sistema operacional.

A velocidade superficial registrada no ponto C é denominada como velocidade mínima de fluidização (V_{MF}), assim como, a queda de pressão, a altura do leito e a porosidade registrada no ponto B, são respectivamente a queda de pressão mínima de fluidização ($-\Delta P_{MF}$), altura em mínima fluidização (H_{MF}) e a porosidade mínima de fluidização (ϵ_{MF}).

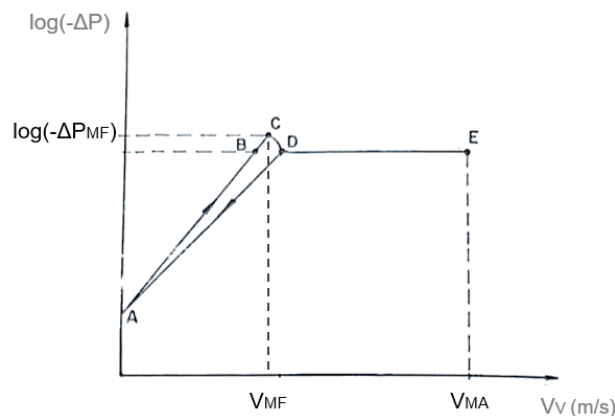
Segundo Terron (2012), esse máximo na queda de pressão (ponto C) é característico em fluidizações com líquidos e é mais acentuado em colunas pequenas (escala piloto) e com partículas que sofreram uma compactação antes do início da operação. Em seguida, há um decréscimo na queda de pressão do sistema (porção CD, já é considerado início da fluidização homogênea). Em uma fluidização que utiliza gases (baixa densidade), o ponto de mínima fluidização é determinado no primeiro ponto em que a queda de pressão se mantém constante com o acréscimo da velocidade superficial (ponto D).

A porção DE, caracteriza-se por obter um valor quase que constante na queda de pressão, dependendo diretamente do sistema empregado e das características das partículas que formam o leito, ocorre a mudança de um regime particular para o

agregativo. O ponto em que é observada a formação de bolhas é considerado como ponto de início de borbulhamento (presente na porção DE), obtendo-se no gráfico a velocidade mínima de borbulhamento (V_{MB}), a queda de pressão mínima de borbulhamento ($-\Delta P_{MB}$), altura em mínima de borbulhamento (H_{MB}) e a porosidade mínima de borbulhamento (\mathcal{E}_{MB}) (CREMASCO, 2018; LEVENSPIEL, 1991).

A partir do ponto E, tem-se a caracterização de uma fluidização de arraste. Logo, pode-se obter os valores para mínimo arraste V_{MA} , $-\Delta P_{MA}$, H_{MA} e \mathcal{E}_{MA} .

Figura 06 – Gráfico da queda de pressão em função da velocidade superficial.

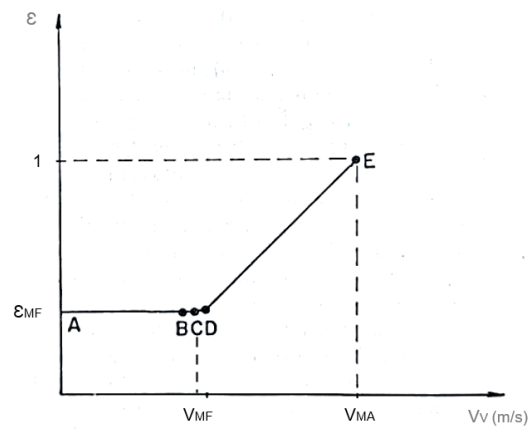


Fonte: Adaptado Vega e Matos (1998).

Quando se obtêm os valores da altura do leito em função do incremento da vazão, pode-se aplicar equações empíricas para determinação do valor da porosidade na respectiva altura do leito, tornando possível elaborar o gráfico comportamental da porosidade em função da velocidade superficial ($\mathcal{E} \times V_v$).

Caso se obtenha o valor de V_{MF} , pode-se traçar retas no gráfico e obter a porosidade mínima de fluidização (\mathcal{E}_{MF}). Na Figura 07, observa-se que no intervalo AB a porosidade se mantém constante, caracterizando o leito como fixo. O ponto C antecede à inclinação na reta, caracterizando o ponto para mínima fluidização. A inclinação da reta indica a suspensão das partículas no leito (porção DE), ou seja, o aumento da altura e da porosidade, mostrando que a fluidização do leito está em evolução até o ponto E (porosidade igual a uma unidade), ponto esse chamado como de mínimo arraste e caracterizado como momento em que o volume vazio entre as partículas é igual ao volume das partículas que compõe o leito (CREMASCO, 2018; TERRON, 2012).

Figura 07 – Gráfico da porosidade em função da velocidade superficial.

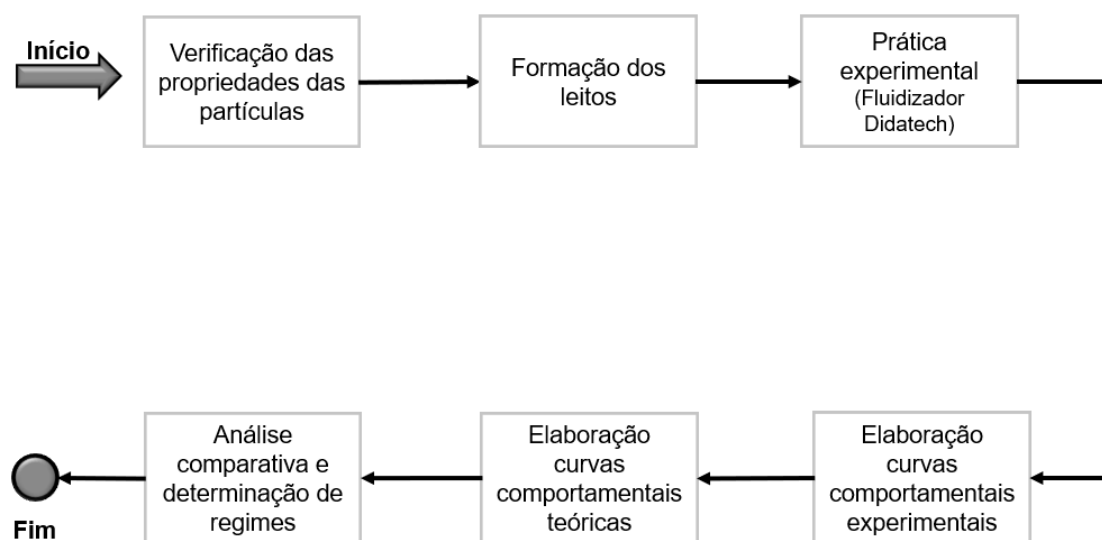


Fonte: Adaptado Vega e Matos (1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção, serão descritos os procedimentos experimentais, os equipamentos envolvidos e os materiais utilizados para o desenvolvimento e execução do experimento. De acordo com Felipe (2004), para obtenção de uma velocidade mínima de fluidização (V_{MF}) experimental de um leito fluidizado, há no mínimo três métodos distintos. O método aplicado no estudo é análise sobre a queda de pressão, além da previsão teórica empírica existentes na literatura, conforme fluxograma ilustrado na Figura 08.

Figura 08 – Fluxograma sobre as etapas experimentais aplicadas.

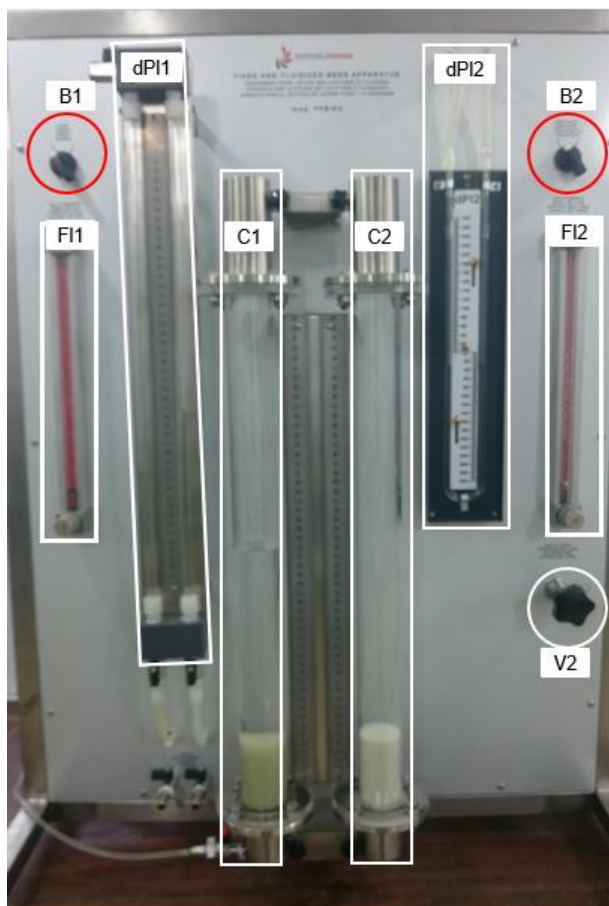


Fonte: Própria.

3.1 EQUIPAMENTO FLUIDIZADOR DIDATECH

Para o estudo comportamental hidrodinâmico de leitos fluidizados e sua aplicação experimental laboral, foi utilizado equipamento fluidizador, ilustrado na Figura 09, localizado no laboratório de Engenharia Química da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas.

Figura 09 – Parte frontal do Equipamento Fluidizador Didatech.



Fonte: Própria.

Conforme Didatech (2015), o equipamento possui sua estrutura em aço inoxidável AISI 304 e na parte frontal, o equipamento é formado essencialmente por:

- Dois tubos verticais (C1 e C2): ilustrados na Figura 10, ambas são de acrílico transparente, possuem altura de 550 milímetros, diâmetro interno de 44 milímetros. A coluna ou torre de fluidização C1 possui equipamentos instalados para fluidização com água e ar para C2. Ambas as colunas possibilitam a troca do leito. Cada torre possui uma escala de unidade 0 a 500 mm de placas de aço inoxidável sinterizado, afim de determinar a altura de cada leito de sua respectiva coluna.

Figura 10 - Coluna C1 e C2 de fluidização.



Fonte: Própria (2022).

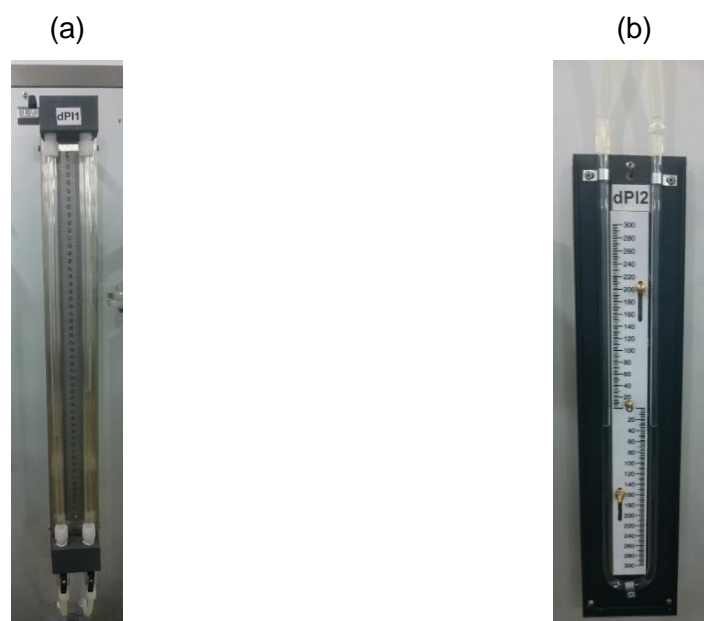
- Dois rotômetros (FI1 e FI2): ilustrado na Figura 11 (a), o rotômetro FI1 de área variável para água e composto de aço inoxidável e vidro. Possui faixa de trabalho de 7 a 70 L/h com incrementos de uma unidade L/h. Ilustrado na Figura 11 (b), o rotômetro FI2 de área variável para ar, também é composto em aço inoxidável e vidro, porém, possui uma faixa de trabalho de 160 a 1600 L/h, com incrementos de 20 unidades L/h, em condições normal para gases (temperatura em vinte graus celsius e pressão atmosférica igual a um).
- Dois manômetros (Pd1 e Pd2): ilustrado na Figura 12 (a), o manômetro Pd1 fornece a queda de pressão ΔP da coluna um (C1), ou seja, utilizado para a fluidização com água. O mesmo é um manômetro do tipo tubo duplo, possui faixa de trabalho de 0 a 500 mmH₂O (possui escala de unidade em placa de aço inoxidável sinterizado localizado entre os dois tubos). O manômetro Pd2 é de tubo em “U”, ilustrado na Figura 12 (b), fornece a queda de pressão na coluna dois (C2), fluidização com ar. Possui faixa de trabalho de 0 a 300 mmH₂O (sua escala de unidade está localizada ao centro do manômetro).

Figura 11 – Rotômetro FI1 (a) para coluna de água C1 e rotômetro FI2 (b) para coluna de ar C2.



Fonte: Própria (2022).

Figura 12 – Manômetro Pd11 (a) tubo duplo conectado à coluna C1 e manômetro Pd12 (b) tubo em “U”, conectado à coluna C2.



Fonte: Própria (2022).

- Botoeiras (B1 e B2): conforme ilustrado na Figura 13, o equipamento possui botoeiras de tipo chave seletora para cada sistema de fluidização.

Figura 13 – Botoeira B1 (a) para energização do sistema de fluidização com água e B2 (b) para ar.



Fonte: Própria (2022).

- Válvula de passagem de ar secundária (V2): ilustrada pela Figura 14, a válvula deve ser aberta antes de iniciar as práticas, em altas vazões deve ser fechada (a partir de 800 L/h). Ao final do experimento, necessário abrir a válvula V2, desligar o sistema (botoeira B2) e fechar a válvula do rotâmetro (F12).

Figura 14 – Válvula de passagem de ar secundária.

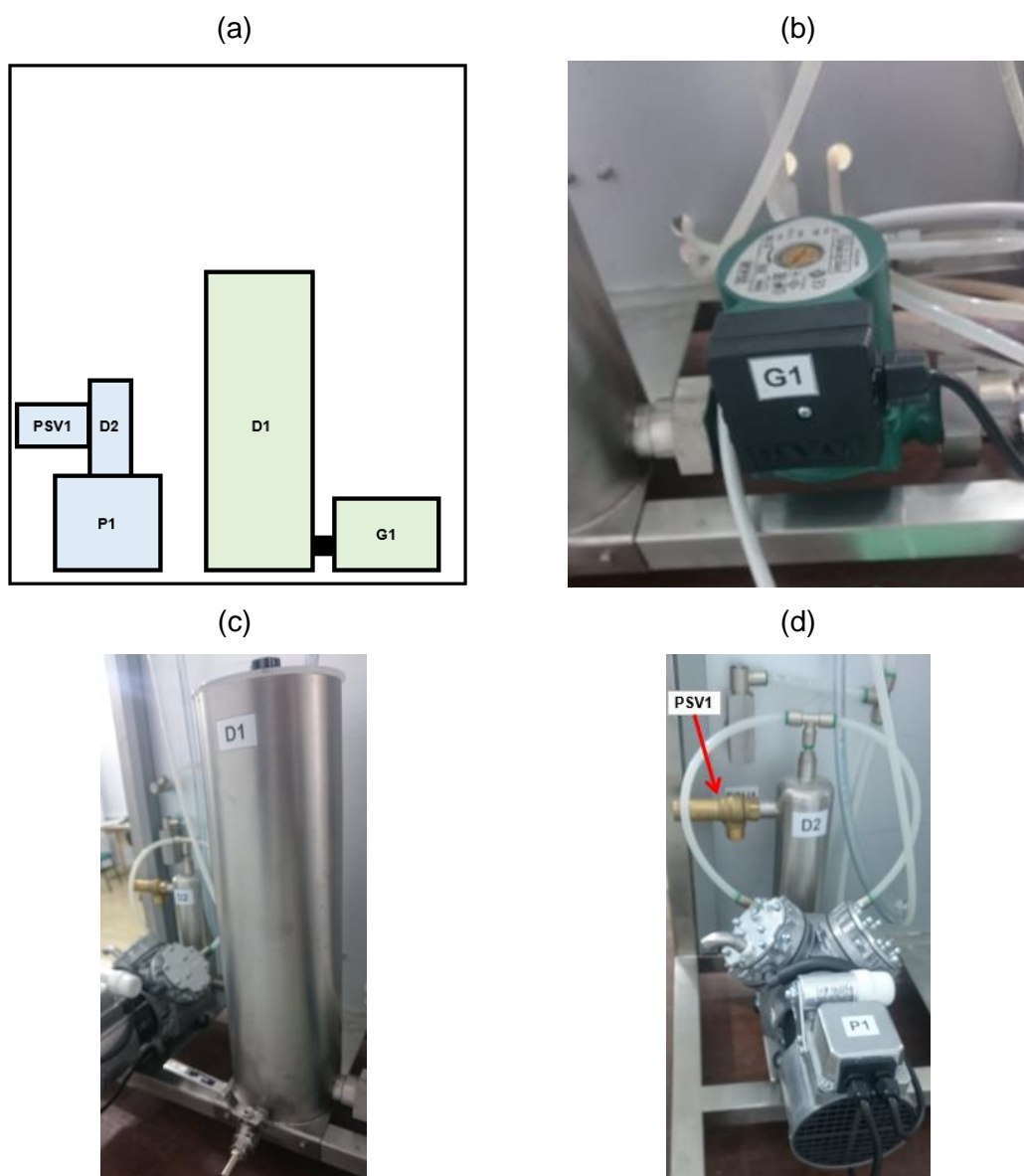


Fonte: Própria (2022).

Na parte posterior do fluidizador, o mesmo possui equipamentos secundários para o funcionamento adequado do sistema, distribuídos conforme Figura 15 (a). O sistema de água possui uma bomba autoescorvante (G1), ilustrado pela Figura 15 (b), de aço

inoxidável AISI 316 com fluxo máximo de 1600 L/h e pressão máxima de 2,4 bar, além de possuir um reservatório pulmão de aço inoxidável AISI 316, com capacidade para 6 litros, ilustrado pela Figura 15 (c) e identificado como D1. Para o sistema de fluidização com ar, o fluidizador possui um compressor tipo diafragma duplo (P1), com vazão máxima de 39 L/min e pressão máxima de 2 bar, um reservatório de armazenamento de ar comprimido (D2), além de possuir uma válvula de segurança (PSV1) com pressão de descarga de 0,5 bar, conforme Figura 15 (d).

Figura 15 – Equipamentos secundários na parte posterior do Fluidizador Didatech.



Fonte: Própria (2022).

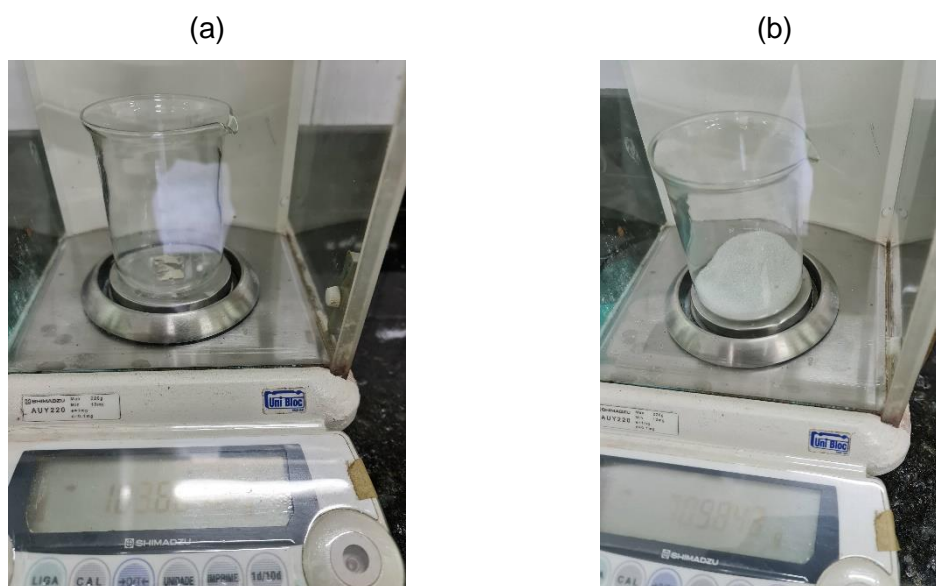
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS LEITOS EXPERIMENTAIS

As partículas que formam os leitos experimentais foram disponibilizadas pela empresa Didatech. De acordo com o manual do equipamento Didatech (2015), as partículas são esferas de vidro perfeitas com densidade (ρ_p) igual a 2500 kg/m^3 . Ainda informa que o diâmetro médio das partículas é de quinhentos micrômetros ($D_p=500 \mu\text{m}$), valor esse, que será utilizado para elaboração das curvas comportamentais teóricas.

3.2.1 Determinação Experimental da Densidade das Partículas

A densidade das partículas para o estudo, foi determinada de acordo com Lopes e Viana (2014) e Viana (2008), em que consiste na imersão de uma partícula, com peso conhecido, em um recipiente graduado, com um volume de água conhecido. Para isso, utilizou-se uma balança analítica, onde foi realizada a pesagem e registro do peso de um béquer vazio, conforme Figura 16 (a). Em seguida, colocou-se duzentos gramas de partículas da amostra a ser utilizada na formação dos leitos e foi feito registro do valor pesado, conforme Figura 16 (b).

Figura 16 – Béquer vazio (a) e béquer com esferas de vidro (b) sendo pesados para determinação da densidade experimental das partículas.



Fonte: Própia (2022).

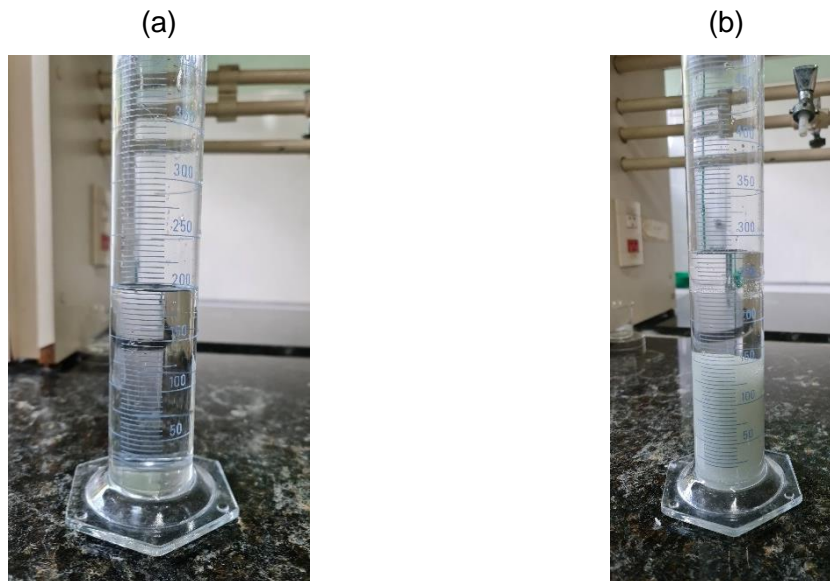
Pegou-se uma proveta graduada e a mesma completada com água até duzentos mililitros, conforme Figura 17 (a). As partículas pesadas foram colocadas cuidadosamente dentro da proveta com água e ao término, registrou-se o novo nível da água na proveta, Figura 17 (b). Os registros das pesagens do béquer e da amostra estão demonstrados na Tabela 01.

Tabela 01 – Dados mássicos das esferas de vidro.

Amostra	Peso béquer (g)	Peso total (g)	Peso partículas (g)	Peso partículas (kg)
Esferas de vidro	103,665	310,719	207,053	0,207

Fonte: Própia (2022).

Figura 17 – Proveta graduada com água (a) e com esferas de vidro já colocadas (b).



Fonte: Própia (2022).

A diferença entre os volumes da proveta (final e inicial) estão registrados na Tabela 02. Para aplicação do método, foi realizada apenas uma pesagem, além de uma verificação do deslocamento de água na proveta.

Tabela 02 – Dados volumétricos da proveta.

Amostra	Volume inicial (ml)	Volume final (ml)	Volume de partículas (ml)	Volume de partículas (m ³)
Água proveta	200,0	281,0	81,0	8,1.10 ⁻⁵

Fonte: Própia (2022).

Aplicando a Equação 05, pode-se obter a densidade aparente das partículas esféricas de vidro.

$$\rho_P = \frac{m}{V} = \frac{0,207}{8,1 \cdot 10^{-5}} = 2.556,2 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

3.2.2 Classificação de Geldart sobre Partículas do Leito

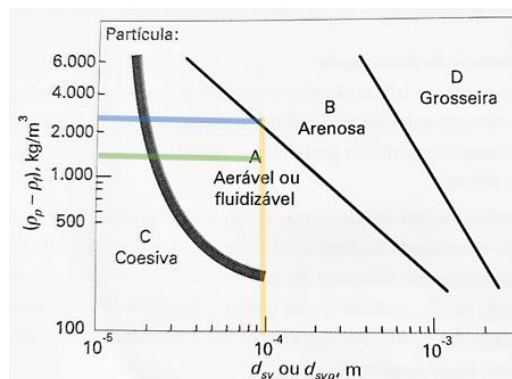
Com o valor do diâmetro médio das partículas e a diferença entre a densidade da partícula que compõe o leito e a densidade do fluido que escoava entre as partículas, foi possível traçar a reta de classificação de Geldart em relação ao fluido aplicado. O valor para o diâmetro médio das partículas foi fornecido pela fabricante do equipamento (DIDATECH, 2015) e os valores das densidades foram obtidos de acordo Perry e Green (2008).

$$\rho_P - \rho_{H_2O} = 2556,2 - 997,7 = 1558,5 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\rho_P - \rho_{ar} = 2556,2 - 0,00125 = 2556,2 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Conforme Figura 18, a reta verde representa a fluidização em água e a azul, fluidização em ar.

Figura 18 – Aplicação da classificação de Geldart para partículas experimentais.

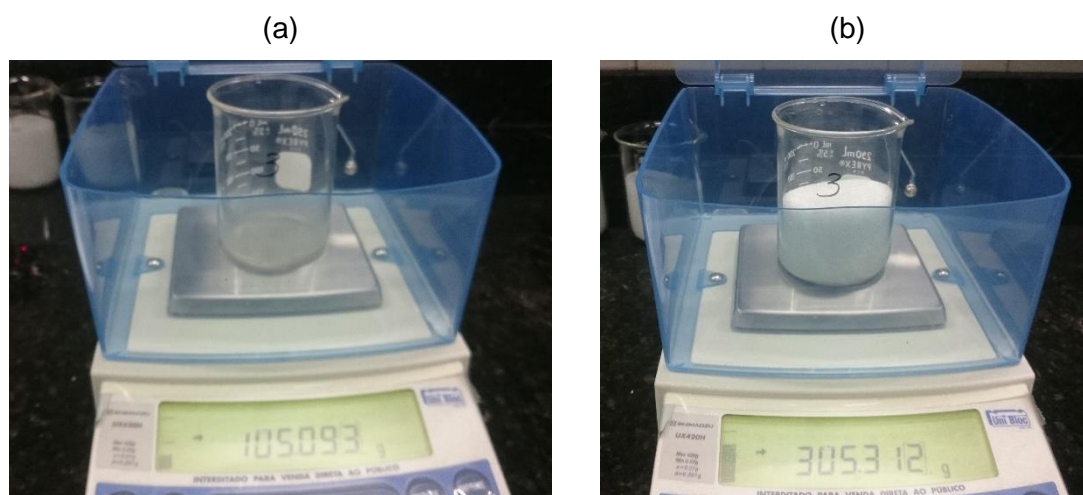


Fonte: Adaptação de Terron, 2012.

3.2.3 Formação dos Leitos Experimentais

Para a formação de cada leito experimental, necessitou-se pesar um béquer vazio em uma balança semi analítica, ilustrada na Figura 19 (a). Em seguida, as esferas de vidro foram inseridas no respectivo béquer e o peso foi registrado, conforme Figura 19 (b), afim de que, a diferença entre o peso cheio com o peso vazio, seja a massa do leito. Foi realizada apenas uma pesagem de partículas para cada amostra.

Figura 19 – Pesagem de béquer vazio (a) e com esferas de vidro (b) para formação dos leitos experimentais.



Fonte: Própia (2022).

Os pesos das partículas (Massa pesada), com sua respectiva numeração amostral e as distribuições para as colunas onde serão realizadas as práticas, estão registradas na Tabela 03. Para a coluna 1, foram denominadas amostras de leite ímpares e para a coluna 2, as amostras pares. Os leitos um e dois possuem pesos semelhantes, assim como o três e quatro, cinco e seis. Desta forma, obtendo um cenário de práticas experimentais de leitos com quantidades distintas fluidizando em um mesmo fluido (exemplo leite 1, 3 e 5 fluidizando na C1), assim como, leitos com quantidades semelhantes fluidizando em fluidos diferentes (exemplo dos leitos 3 e 4, fluidizando respectivamente nas colunas C1 e C2).

Tabela 03 – Pesos das amostras para formação dos leitos experimentais.

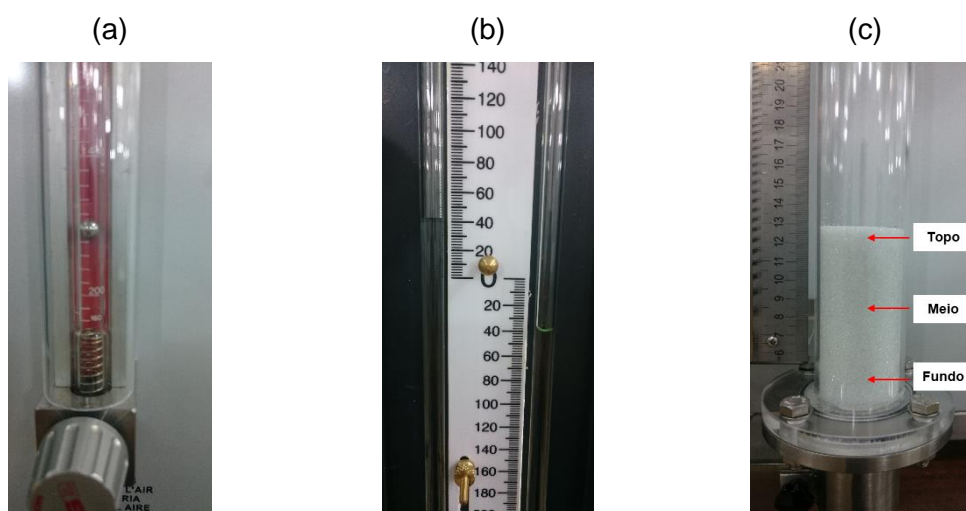
Coluna	Leito	Peso béquer (g)	Peso total (g)	Massa pesada (g)
1	1	112,335	412,724	300,389
1	3	111,759	361,805	250,046
1	5	110,189	310,437	200,248
2	2	111,541	415,385	303,844
2	4	89,595	340,406	250,811
2	6	105,093	305,312	200,219

Fonte: Própia (2022).

3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento consistiu em registrar o valor da queda de pressão pelo manômetro da coluna experimental, registrar a altura do leito e realizar a observação (visual) comportamental (topo, meio e fundo do leito) do mesmo, para cada incremento na vazão do fluido, até a vazão máxima do respectivo rotâmetro. A Figura 20 exemplifica a obtenção dos dados experimentais. Com a última obtenção experimental, o equipamento era desligado, seguindo orientações do Didatech (2015), e assim, era iniciada uma nova prática com o mesmo leito, seguindo os mesmos passos anteriores, até obter experimentos com o leito em triplicata. Após, o leito era substituído, seguindo as orientações do Didatech (2015), para iniciar o mesmo procedimento com todos os leitos da Tabela 03, totalizando dezoito práticas experimentais (três práticas para cada leito).

Figura 20 – Exemplificação na obtenção de dados experimentais no rotâmetro F12 (a), manômetro Pdl2 (b) e altura do leito (c).



Fonte: Própia (2022).

3.3.1 Procedimentos em Leitos Fluidizados com Água

O experimento que possui a água como fluido (coluna C1), seguiu a sequência de experimento com os leitos 1 (300g), 3 (250g) e 5 (200g) respectivamente. Com o leito 1 já inserido na coluna, registrou-se os valores de queda de pressão (Pdl1), altura do leito e a descrição do seu comportamento inicial (vazão igual a zero). Após, o equipamento foi ligado e em seguida, o primeiro incremento de vazão foi realizado. Conforme citado no item 3.1, o rotâmetro (F11) possui a possibilidade de aplicar uma vazão na faixa de trabalho entre 7 a 70 L/h e seu incremento de vazão pode ser no mínimo de 1 L/h. A cada incremento de vazão, os dados foram registrados, totalizando 65 registros para cada variável desejada (queda de pressão, altura do leito e observação

comportamental), em cada prática. Após o sistema era desligado e em seguida, iniciada a nova prática com o mesmo leito, até ser obtido uma replicação experimental em triplicata. Após, o leito era substituído por outro que estava na sequência experimental. Os resultados obtidos das três práticas para o seu respectivo leito fluidizado em água, estão registrados no Apêndice A.

3.3.2 Procedimentos em Leitos Fluidizados com Ar

O experimento que possui o ar como fluido (coluna C2), seguiu a sequência de experimento com os leitos 2 (300g), 4 (250g) e 6 (200g) respectivamente. Com o leito 2 já inserido na coluna, registrou-se os valores de queda de pressão (Pdl2), altura do leito e a descrição do seu comportamento inicial (vazão igual a zero). Após, o equipamento foi ligado e em seguida, o primeiro incremento de vazão foi realizado. Conforme citado no item 3.1, o rotâmetro (FI2) possui a possibilidade de aplicar uma vazão na faixa de trabalho entre 160 a 1600 L/h e seu incremento de vazão pode ser no mínimo de 20 L/h. A cada incremento de vazão, os dados foram registrados, totalizando 74 registros para cada variável desejada (queda de pressão, altura do leito e observação comportamental), em cada prática. Após o sistema era desligado e em seguida, iniciada a nova prática com o mesmo leito, até ser obtido uma replicação experimental em triplicata. Após, o leito era substituído por outro que estava na sequência experimental. Os resultados obtidos das três práticas para o seu respectivo leito fluidizado em ar, estão registrados no Apêndice B.

3.4 TRATAMENTO DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Os dados obtidos durante os experimentos (Apêndice A e B) foram convertidos para unidades do Sistema Internacional, possibilitando a elaboração das curvas comportamentais de cada leito. Para isso, foi necessário a aplicação da Equação 11 para cada vazão registrada pelo rotâmetro da coluna aplicada, obtendo assim, as velocidades superficiais (V_V). Exemplo abaixo para aplicação de uma vazão de 35 L/h.

$$V_V = \frac{Q}{(\pi \cdot D_p^2 / 4)} = \frac{35}{(\pi \cdot (500 \cdot 10^{-6})^2) / 4} \left(\frac{1}{1000 \cdot 3600} \right) = 0,0063 \text{ m/s}$$

Para conversão da queda de pressão nos dois manômetros, foi utilizada a Equação 16, obtendo o valor em pascal (S.I.). O valor da densidade aparente da água (ρ) e a aceleração da gravidade (g) foram obtidas por Terron (2012). Abaixo foi aplicada

a equação para conversão da pressão de uma vazão de 35 L/h do leito 1, prática 1, conforme Apêndice A.

$$P = g \cdot \rho \cdot \Delta P = 9,8 \cdot 997,7 \cdot 55,7 = 544,60 \text{ Pa}$$

Já para a altura do leito, foi realizada conversão de medida centímetro para unidade em metro, utilizando o mesmo ponto amostral de conversão da pressão.

$$H = \frac{13,8}{100} = 0,138 \text{ m}$$

Sendo H a altura do leito em metros.

Com os dados experimentais convertidos, pôde-se elaborar as curvas experimentais comportamentais, e assim, analisar o comportamento e identificar o ponto de mínima fluidização. Com esse ponto determinado, pôde-se obter os valores de variáveis determinantes ao experimento, como V_{MF} (velocidade mínima de fluidização), ϵ_{MF} (porosidade mínima de fluidização), H_{MF} (altura mínima de fluidização), ΔP_{MF} (queda de pressão mínima de fluidização), além das observações comportamentais das curvas com relação ao regime do leito.

De acordo com Terron (2012) e Cremasco (2018), para determinação da porosidade inicial do leito é necessário saber a altura do leito sem as lacunas que existem entre as partículas que compõe o mesmo (H_{MO}). Para a obtenção dessa altura, necessitou-se obter primeiramente o volume das partículas (V_P) através da Equação 05, uma vez que a densidade aparente experimental e a massa dos leitos já foram obtidas. Aplicação exemplificada para o leito 5.

$$V_P = \frac{m}{\rho_P} = \frac{0,200248}{2556,2} = 7,83 \cdot 10^{-5} \text{ (m}^3\text{)} \therefore V_P = A \cdot H$$

Tal que, A é a área que a respectiva partícula possui e H é a altura correspondente à respectiva quantidade de material do leito (H_{MO}).

Sendo assim, com o volume das partículas (V_P) e com o diâmetro médio das partículas ($D_P=500 \mu\text{m}$), conforme Didatch, (2015), a altura H_{MO} pôde ser calculada pelo conceito geral de volume.

$$H_{MO} = \frac{V_P}{A} = \frac{V_P}{\frac{(\pi \cdot D_P^2)}{4}} = \frac{7,83 \cdot 10^{-5}}{\frac{\pi \cdot (500 \cdot 10^{-6})^2}{4}} = 0,0515 \text{ (m)}$$

Com a altura H_{MO} determinada e sabendo que a porosidade nessa respectiva altura é igual a zero (considerando que apenas há o volume das partículas), pode-se aplicar a Equação 17 para se determinar a porosidade inicial do leito (ϵ_2), em uma altura inicial do leito (H_2) respectiva ao leito 5, prática 1, de acordo com os dados do Apêndice A e B, sendo que H_{MO} é a altura do leito fixo (H_1).

$$\epsilon_2 = 1 - \left(\frac{H_1}{H_2} \right) = 1 - \left(\frac{0,0515}{0,0875} \right) = 0,4117$$

Em todas as práticas, em seus respectivos leitos, foi aplicado o método indicado por Terron (2012) e Cremasco (2018) para obtenção da porosidade inicial, registrada na Tabela 04.

Tabela 04 – Alturas e porosidades iniciais dos leitos experimentais.

Leito	H_{MO} inicial (m)	ϵ inicial (prática 1)	ϵ inicial (prática 2)	ϵ inicial (prática 3)
1	0,0773	0,4233	0,4233	0,4189
3	0,0643	0,4354	0,4102	0,4103
5	0,0515	0,4117	0,4024	0,4026
2	0,0782	0,3845	0,3940	0,3893
4	0,0645	0,4025	0,3854	0,3854
6	0,0515	0,3794	0,3794	0,3794

Fonte: Própria (2022).

3.4.1 Elaboração de Gráficos das Curvas Experimentais

Para elaboração da curva comportamental de fluidização dos leitos, foi elaborado gráfico com o logaritmo da queda de pressão em função da velocidade superficial ($\log(-\Delta P) \times V_v$) para cada prática de seu respectivo leito, utilizando os dados experimentais do Apêndice A e B, respectivamente tratados no item 3.4. Com a curva traçada, pôde-se observar o ponto máximo da queda de pressão seguido do decréscimo da mesma, caracterizando o ponto de mínima fluidização.

No gráfico da porosidade em função da velocidade superficial ($\epsilon \times V_v$), aplicou-se inicialmente a Equação 17, a partir do valor da porosidade e altura inicial de cada leito (Tabela 04). A exemplificação da aplicação da Equação 17 segue abaixo, utilizando o

leito 5, prática 1, para as condições do leito compactado e os dados para a vazão 45 L/h, ambos do Apêndice A.

$$L_1 \cdot (1 - \varepsilon_1) = L_2 \cdot (1 - \varepsilon_2) \therefore 0,0515 \cdot (1 - 0) = 0,097 \cdot (1 - \varepsilon_2) \rightarrow \varepsilon_2 = 0,4674$$

Com os valores das porosidades de suas respectivas alturas em função da velocidade superficial, pôde-se elaborar o gráfico da porosidade em função da velocidade superficial ($\varepsilon \times V_V$). A partir do valor da velocidade mínima de fluidização, traçou-se a reta pela curva comportamental elaborada, adquirindo assim, a porosidade e altura de mínima fluidização, para todas as práticas de seus respectivos leitos.

3.4.2 Equações Teóricas Aplicadas para Tratamento dos Dados

Para elaboração dos gráficos de curvas comportamentais, verificação e análise comparativa entre dados experimentais e teóricos, foram aplicadas equações teóricas de fluidização.

Com a finalidade de obter a velocidade do fluido em determinado ponto do leito, aplicou-se a Equação 11 rearranjada em função da velocidade do leito (V_L), para todos os incrementos de vazão de todas as práticas e leitos (exemplificado abaixo com valor de vazão de 360 L/h, prática 2, amostra 4, conforme Apêndice B).

$$V_L = \frac{V_V}{\varepsilon} = \frac{0,065767}{0,39} = 0,170617 \text{ (m/s)}$$

Tal que, ε é a porosidade do leito e V_V a velocidade superficial, ambos no respectivo ponto do leito.

Conforme citado no item 3.4.1, a Equação 17 foi utilizada para determinação da porosidade do leito em função do incremento da vazão do fluido.

Para determinação do regime de escoamento, em que um leito está inserido, necessitou-se calcular o número de Reynolds, utilizando a Equação 01 combinada com o diâmetro equivalente da partícula, resulta na Equação 18, conforme Terron (2012).

$$Re = \frac{2 D_p \cdot V_V \cdot \rho_f}{3 (1 - \varepsilon) \cdot \mu_f} \quad (18)$$

Onde, D_p o diâmetro médio das partículas informado por Didatech (2015), V_V é a velocidade superficial no ponto específico do leito, ρ_f a densidade do fluido que escoar entre as partículas, ε a porosidade do leito no específico ponto e μ_f a viscosidade do fluido.

Os valores das viscosidades e densidades dos fluidos aplicados ao estudo (Anexo 2) para fluidização experimental, foram obtidos de acordo com Perry e Green (2008).

Aplicando a Equação 18, ainda para os resultados da prática 2, amostra 4, para o ponto de vazão 360 L/h, têm-se:

$$Re = \frac{2 D_p \cdot V_V \cdot \rho_f}{3 (1 - \varepsilon) \cdot \mu_f} = \left(\frac{2}{3} \right) \frac{500 \cdot 10^{-6} \cdot 0,065767 \cdot 0,00125}{(1 - 0,39) \cdot 1,825 \cdot 10^{-5}} = 2,44 \cdot 10^{-3}$$

De acordo com o regime em que o leito está inserido, utiliza-se a Equação 12 de *Blake-Kozeny* para regime laminar e a Equação 13 de *Burker-Plummer* para regime turbulento. No caso exemplifica, Reynolds apresenta um resultado muito pequeno (menor que 40), assim, o fluido que escoar entre as partículas em regime laminar, logo, aplica-se a Equação 12.

$$\Delta P = \frac{150 \cdot \mu_f \cdot H \cdot V_V (1 - \varepsilon)^2}{D_p^2 \varepsilon^3} = \left(\frac{150 \cdot 1,825 \cdot 10^{-5} \cdot 0,105 \cdot 0,065767}{(500 \cdot 10^{-6})^2} \right) \left(\frac{(1 - 0,39)^2}{0,39^3} \right)$$

$$\Delta P = 498,74 \text{ (Pa)}$$

A viscosidade (μ_i), conforme citado anteriormente, foi obtida através do Anexo 2, H é a altura do leito observada (sistema com vazão de 360 L/h), assim como a porosidade (ε). A velocidade superficial (V_V) foi obtida anteriormente pela Equação 11, D_p é o diâmetro média das partículas que compõe o leito (DIDATECH, 2015).

Para determinação de uma fluidização com abrangência de regimes em função da esfericidade, calculou-se também a queda de pressão pela Equação 14 (Equação de Ergun).

$$\Delta P = \frac{150 \cdot \mu_f \cdot V_V \cdot H (1 - \varepsilon)^2}{\Phi_p^2 D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1,75 \cdot \rho_f \cdot V_V^2 \cdot H (1 - \varepsilon)}{\Phi_p D_p \varepsilon^3}$$

$$\Delta P = 498,74 + 0,0213 = 498,76 \text{ (Pa)}$$

$$\Delta P = 498,74 + \left(\left[\frac{1,75 \cdot 1,23 \cdot 10^{-5} \cdot 0,065767^2 \cdot 0,105}{500 \cdot 10^{-6}} \right] \left[\frac{(1 - 0,39)}{0,39^3} \right] \right)$$

A densidade (ρ_f) e a viscosidade (μ_f), conforme citado anteriormente, foram obtidas através do Anexo 2, H é a altura do leito observada (sistema com vazão de 360 L/h), assim como a porosidade (ε). A velocidade superficial (V_v) foi obtida através da Equação 11, D_p é o diâmetro média das partículas que compõe o leito (DIDATECH, 2015). A esfericidade da partícula (Φ_p) é considera igual a um, visto que a partícula é uma esfera perfeita (DIDATECH, 2015).

Aplicou-se também a Equação 15.

$$\Delta P = (\rho_p - \rho_f) \cdot (1 - \varepsilon) \cdot g \cdot H = (2556,2 - 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 0,39) \cdot 9,8 \cdot 0,105$$

$$\Delta P = 1616,51 \text{ (Pa)}$$

Em que, H é a altura do leito e ε a porosidade correspondente à altura, ρ_p a densidade das partículas (obtida no item 3.2.1), ρ_f a densidade do fluido (Anexo 2) e g é a aceleração da gravidade.

3.4.3 Elaboração de Gráficos das Curvas teóricas

Com as propriedades sobre o leito experimental, do fluido que irá escoar e informações do equipamento, foram elaboradas curvas teóricas para verificação da aplicação experimental. Para a elaboração da curva comportamental teórica de cada leito, calculou-se os dados de fluidização mínima de cada leito (V_{MF} , ε_{MF} , H_{MF} e ΔP_{MF}).

Para ambos os leitos, foram utilizadas as mesmas equações, sendo alteradas as propriedades dos fluidos e das amostras, uma vez que a estrutura e características de C1 e C2 são iguais, que a esfericidade das partículas de vidro é igual a um ($\Phi_p=1$), o diâmetro médio das partículas é a média de tamanho presentes na amostra ($D_p= 500 \mu\text{m}$) e que a altura mínima de fluidização (H_{MF}) teórica é considerada como sendo a altura em que as partículas se acomodam no leito sem que haja fluxo ascendente, logo, a porosidade mínima de fluidização (ε_{MF}) é igual à porosidade do leito, ambas já calculadas para a formação das curvas experimentais.

As alturas para mínima fluidização de cada leito estão informadas na Tabela 05.

Tabela 05 – Alturas teóricas iniciais (H_{MF}) dos leitos.

Coluna	Amostra	Peso amostra (kg)	Altura inicial / H _{MF} (m)	H _{MF} (m)
1	1	0,300	0,133	0,419
1	3	0,250	0,109	0,410
1	5	0,200	0,086	0,402
2	2	0,304	0,128	0,389
2	4	0,251	0,105	0,385
2	6	0,200	0,083	0,379

Fonte: Própria (2022).

No ponto crítico de fluidização, momento em que as forças atuantes no sistema são iguais, pode-se igualar as Equação 14 e Equação 15, obtendo assim a velocidade mínima de fluidização (V_{MF}). Dando continuidade à exemplificação de aplicação para os resultados da prática 2, amostra 4, para o ponto de vazão 360 L/h, têm-se:

$$\Delta P = \frac{150 \cdot \mu_f \cdot V_{MF} (1 - \varepsilon)^2}{\Phi_p^2 D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1,75 \cdot \rho_f \cdot V_{MF}^2 (1 - \varepsilon)}{\Phi_p D_p \varepsilon^3} = (\rho_P - \rho_F) \cdot (1 - \varepsilon) \cdot g$$

$$\left(\frac{150 \cdot 1,825 \cdot 10^{-5} \cdot V_{MF}}{(500 \cdot 10^{-6})^2} \right) \left(\frac{(1 - 0,39)^2}{0,39^3} \right) + \left(\frac{1,75 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot V_{MF}^2}{500 \cdot 10^{-6}} \right) \left(\frac{(1 - 0,39)}{0,39^3} \right) = (2556,2 - 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 0,39) \cdot 9,8$$

$$72223,17 \cdot V_{MF} + 46,95 V_{MF}^2 = 15395,29$$

$$V_{MF} = 0,2131 \text{ m/s}$$

Após obter a V_{MF} , pela própria Equação 15, calculou-se a queda de pressão no ponto crítico de fluidização, sendo a porosidade e a altura mínima de fluidização igual à porosidade e altura inicial do leito respectivamente.

$$\Delta P = (\rho_P - \rho_F) \cdot (1 - \varepsilon_{MF}) \cdot g \cdot H_{MF} = (2556,6 - 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 0,385) \cdot 9,8 \cdot 0,105$$

$$\Delta P = 1616,51 \text{ (Pa)}$$

Na Tabela 06, estão apresentados todos os valores calculados no ponto crítico de fluidização de seus respectivos leitos.

Tabela 06 – Dados obtidos no ponto mínimo de fluidização em todos os leitos.

Coluna	Amostra	Massa	V_{MF} (m/s)	ϵ_{MF} -	ΔP_{MF} (Pa)	H_{MF} (m)
1	1	0,300	0,003211	0,419	1180,40	0,133
1	3	0,250	0,002974	0,410	982,57	0,109
1	5	0,200	0,002773	0,402	786,89	0,086
2	2	0,304	0,220962	0,389	1958,31	0,128
2	4	0,251	0,213163	0,385	1616,51	0,105
2	6	0,200	0,201258	0,379	1290,43	0,083

Fonte: Própria (2022).

Com os resultados na condição do ponto crítico de fluidização, necessário saber se o leito está em um regime laminar ou turbulento, afim de, aplicar as equações adequadas ao sistema. Logo, para calcular Reynolds, necessário aplicar a Equação 18.

$$Re = \frac{2 D_p \cdot V_{MF} \cdot \rho_f}{3 (1 - \epsilon_{MF}) \cdot \mu_f} = \left(\frac{2}{3}\right) \frac{500 \cdot 10^{-6} \cdot 0,213263 \cdot 0,00125}{(1 - 0,385) \cdot 1,825 \cdot 10^{-5}} = 0,0079$$

Com o resultado de Reynolds menor que 40, o regime do fluxo no ponto mínimo de fluidização é laminar. A Tabela 07 possui os resultados consolidados de todos os leitos em seus respectivos pontos.

Tabela 07 – Dados obtidos no ponto mínimo de fluidização teórico de todos os leitos.

Coluna	Amostra	Massa	V_{MF} (m/s)	ϵ_{MF} -	ΔP_{MF} (Pa)	H_{MF} (m)	Re -
1	1	0,300	0,003211	0,419	1180,40	0,133	1,8321
1	3	0,250	0,002974	0,410	982,57	0,109	1,6723
1	5	0,200	0,002773	0,402	786,89	0,086	1,5389
2	2	0,304	0,220962	0,389	1958,31	0,128	0,0083
2	4	0,251	0,213163	0,385	1616,51	0,105	0,0079
2	6	0,200	0,201258	0,379	1290,43	0,083	0,0074

Fonte: Própria (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção serão apresentados os resultados e as discussões, referentes às análises comportamentais dos ensaios experimentais utilizando a planta piloto de fluidização do Laboratório de Engenharia Química da Universidade do Estado do Amazonas.

4.1 DENSIDADE DAS PARTÍCULAS

Através da análise comparativa, com a informação fornecida ($\rho_p=2.500 \text{ kg/m}^3$) pelo Didatech (2015), a densidade experimental está coerente, obtendo apenas um pequeno desvio de 2,22%, podendo assim, ser aplicada nos cálculos teóricos.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DOS LEITOS POR GELDART

Pôde-se observar através da classificação de Geldart, que os leitos fluidizados em água possuem uma previsibilidade comportamental de partículas com classificação A. Essa classificação possui previsão de um intervalo de fluidização particular, sendo esse intervalo, confirmado através da observação experimental do leito e pela obtenção das velocidades mínimas de fluidização e de borbulhamento dos leitos.

Para a fluidização utilizando o ar como fluido, a classificação das partículas sofreu alteração para tipo B, com isso, a sua previsibilidade comportamental no intervalo de fluidização particular é muito pequeno, com formação de bolhas prontamente após a fluidização do leito. Na observação visual experimental, pode-se verificar a formação de bolhas logo após as partículas em todo o leito estarem vibrando, confirmando a previsibilidade de Geldart.

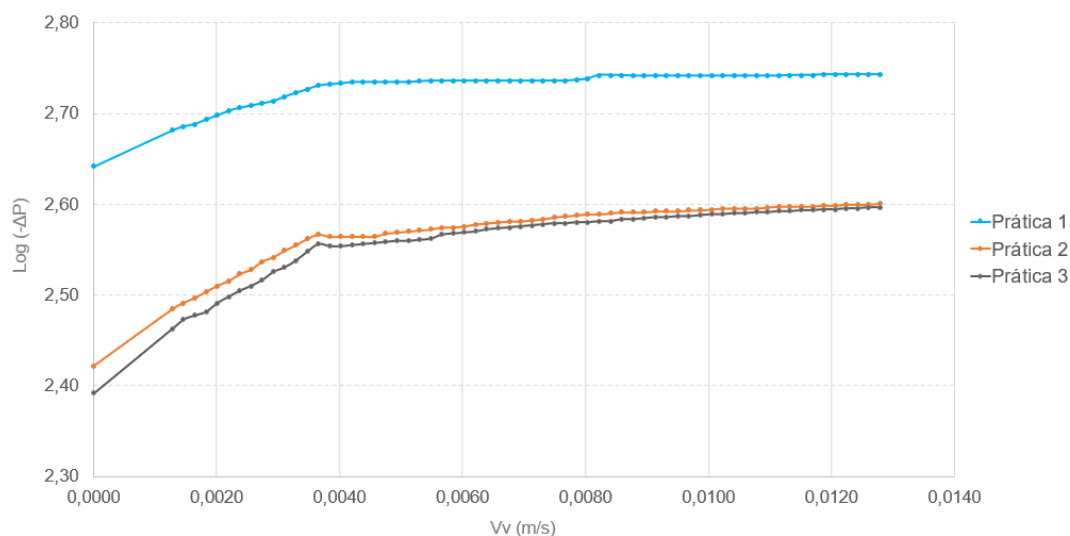
4.3 CURVAS EXPERIMENTAIS

Como cada cenário experimental foi realizado em triplicata (cada leito em seu respectivo fluido), obteve-se três curvas comportamentais para o gráfico da queda de pressão em função da velocidade superficial e da porosidade em função da velocidade superficial. A terceira prática de cada leito foi adota como curva representativa, afim de se evitar histerese por compactação do leito e pela variação no tamanho das partículas (quanto mais práticas realizadas, maior será mescla no mesmo).

4.3.1 Resultados Experimentais para Fluidização com Água

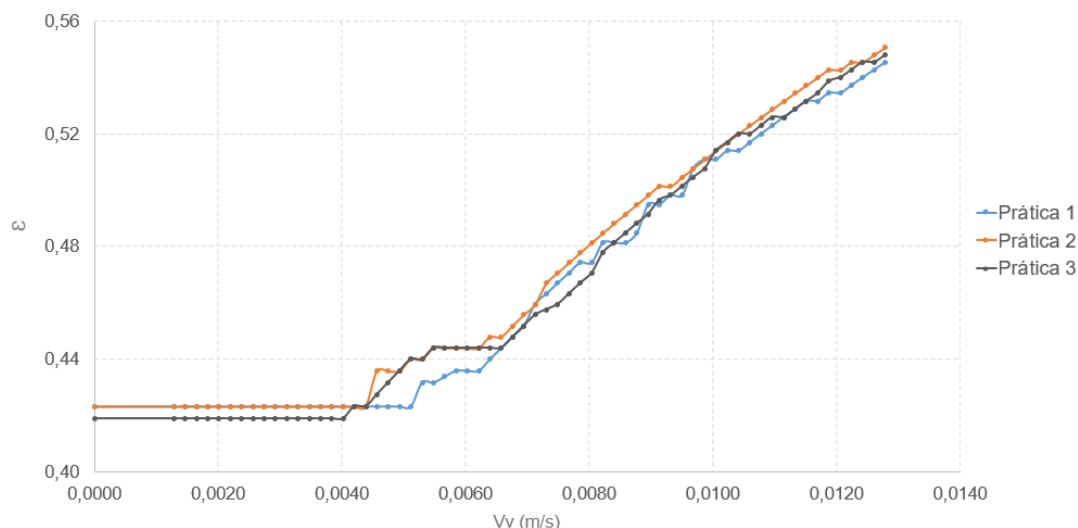
Os gráficos de queda de pressão e porosidade em função da velocidade superficial elaborados utilizando os dados obtidos do leito 1 (Apêndice A) estão representados na Figura 21 e Figura 22 respectivamente para observação comportamental analítica do leito.

Figura 21 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leito 1 (300g), fluidização em água.



Fonte: Própria (2022).

Figura 22 – Gráfico ($\epsilon \times V_v$) de práticas utilizando o leito 1 (300g), fluidização em água.



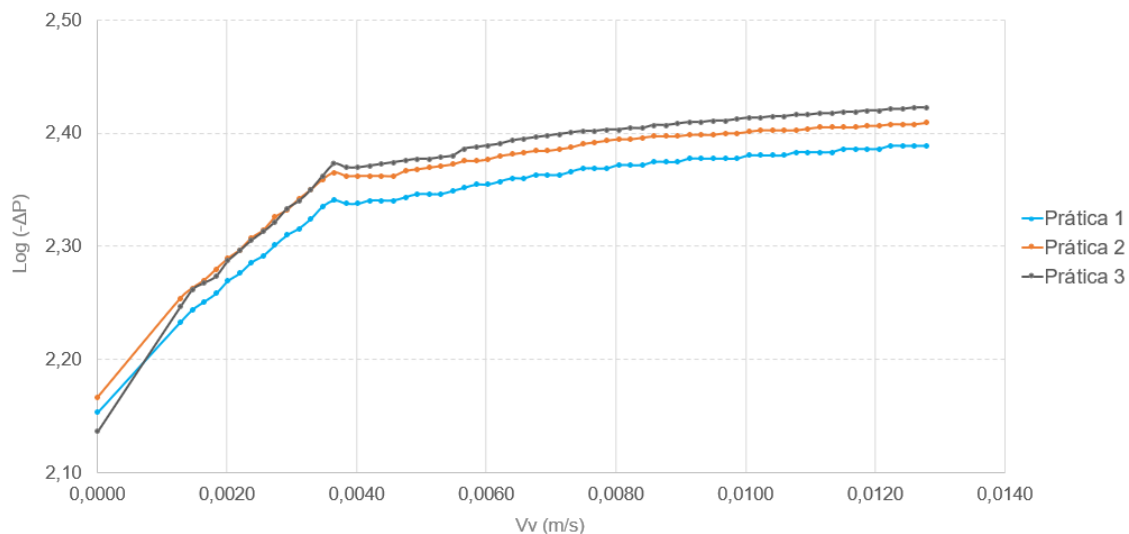
Fonte: Própria (2022).

Pode-se observar pela Figura 21 que as práticas 2 e 3 obtiveram comportamento semelhante e a prática 1 um comportamento bem divergente, possuindo uma queda de

pressão maior em comparação com as demais. Na Figura 22, pode-se observar a divergência na porosidade inicial entre as curvas das práticas 2 e 3, porém, obtiveram um início de inclinação da reta semelhante, assim como, a mudança de regime após a fluidização.

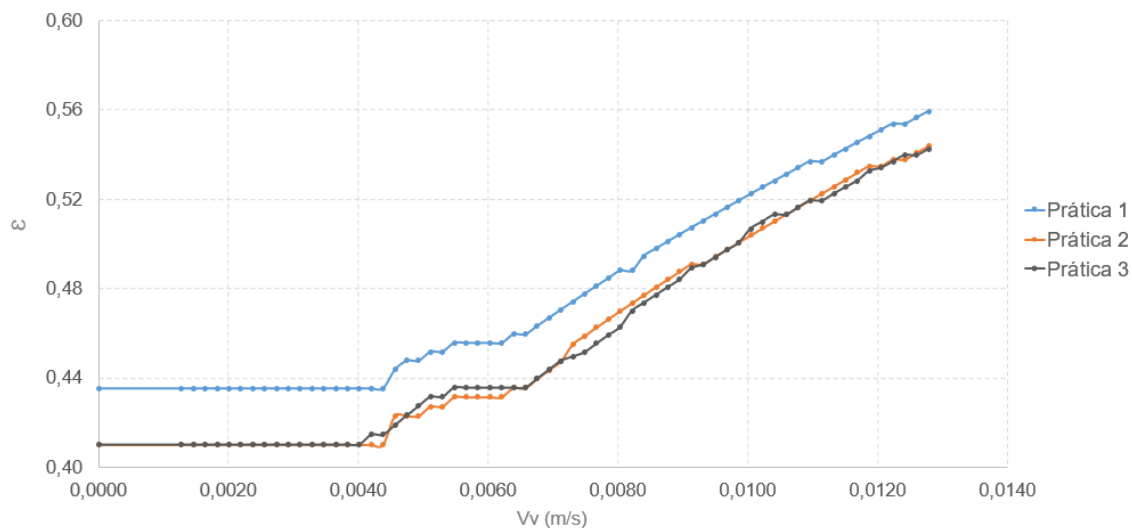
Os gráficos elaborados utilizando os dados obtidos do leito 3 (Apêndice A), estão representados na Figura 23 e Figura 24.

Figura 23 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leito 3 (250g), fluidização em água.



Fonte: Própria (2022).

Figura 24 – Gráfico ($\varepsilon \times V_v$) de práticas utilizando o leito 3 (250g), fluidização em água.



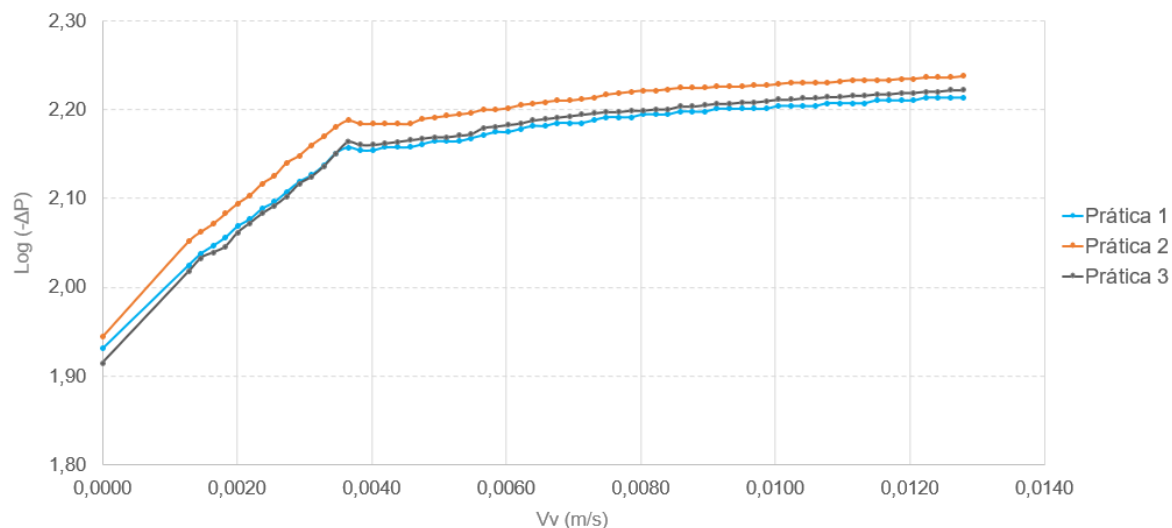
Fonte: Própria (2022).

Pode-se observar pela Figura 23 que as curvas experimentais das práticas obtiveram um comportamento semelhante, com o mesmo ponto de fluidização, porém,

com divergência na queda de pressão entre as curvas. Na Figura 24, pode-se observar que as práticas 2 e 3 obtiveram a mesma porosidade inicial, porém, a curva experimental da prática 3 obteve um comportamento linear durante inclinação da reta.

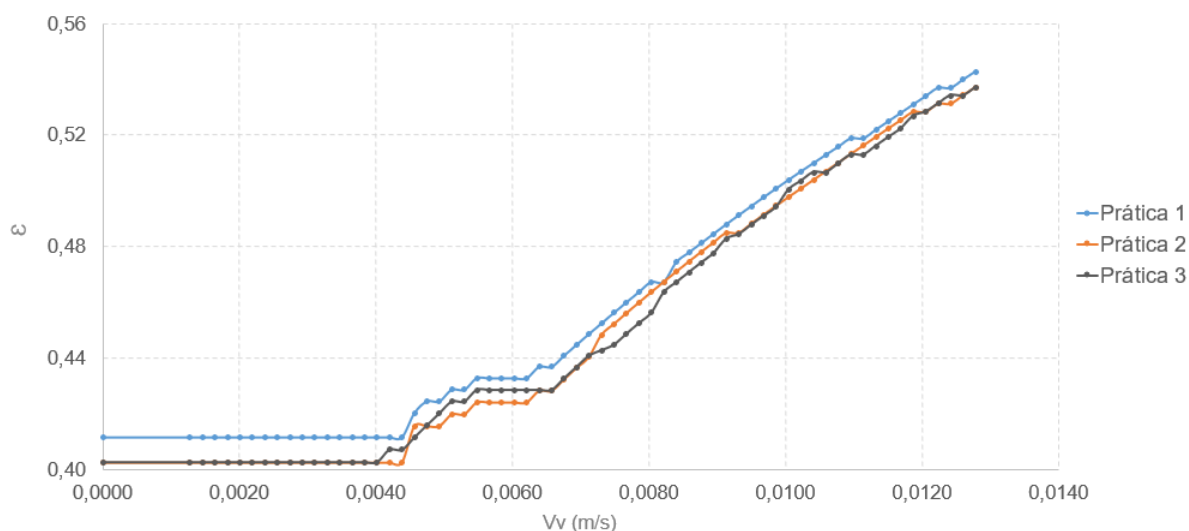
Os gráficos elaborados utilizando os dados obtidos do leito 5 (Apêndice A), estão representados na Figura 25 e Figura 26.

Figura 25 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leito 5 (200g), fluidização em água.



Fonte: Própria (2022).

Figura 26 – Gráfico ($\varepsilon \times V_v$) de práticas utilizando o leito 5 (200g), fluidização em água.



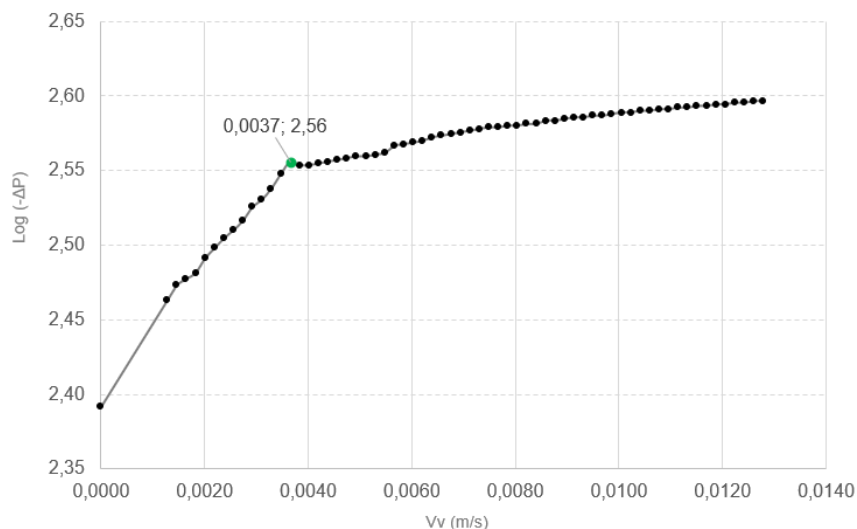
Fonte: Própria (2022).

Pode-se observar pela Figura 25 que as curvas experimentais das práticas obtiveram um comportamento semelhante, com o mesmo ponto de fluidização, porém, com divergência na queda de pressão entre as curvas. Na Figura 26, pode-se observar

que as práticas 2 e 3 obtiveram a mesma porosidade inicial, porém, a curva experimental da prática 3 obteve um comportamento linear durante inclinação da reta.

Com a curva comportamental representativa de cada leito, obteve-se os dados experimentais (V_{MF} , \mathcal{E}_{MF} , H_{MF} e ΔP_{MF}) identificando na mesma, o ponto característico de mínima fluidização. A Figura 27 exemplifica a determinação do ponto de mínima fluidização para o leito 1.

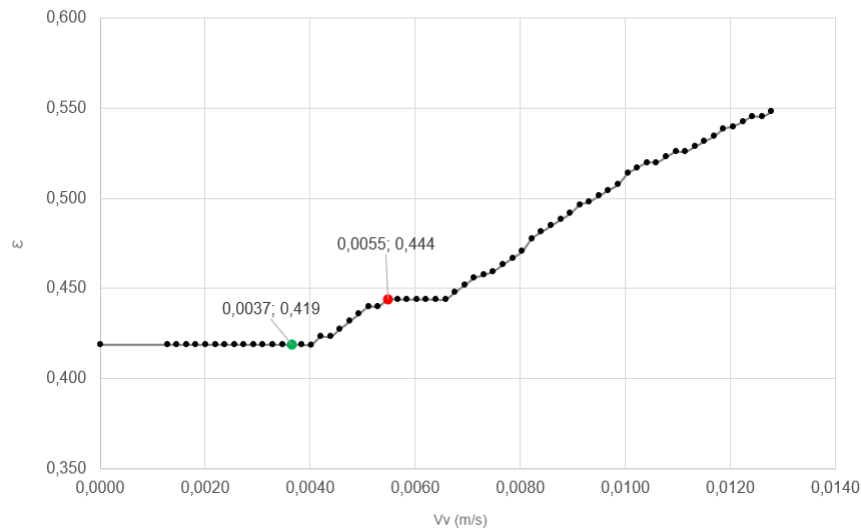
Figura 27 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) representativo ao leito 1 (300g), fluidização em água.



Fonte: Própria (2022).

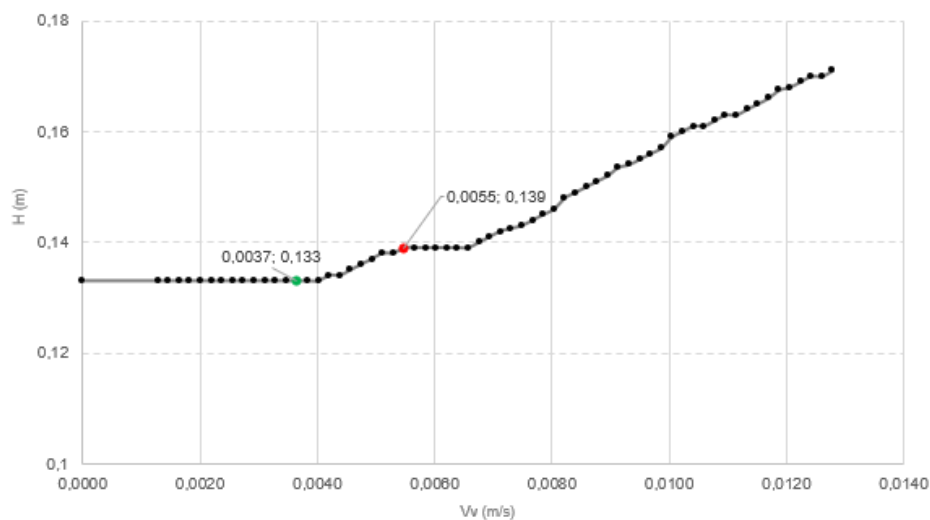
O ponto em destaque na cor verde é considerado como o ponto crítico ou mínimo para fluidização, onde o leito deixa de ser fixo para dar início a sua fluidização. Logo, nesse determinado ponto, obteve-se o valor de $V_{MF} = 0,003654$ m/s e de $\log(-\Delta P_{MF}) = 2,56$ (359,81 Pa). Com V_{MF} , pôde-se obter o valor de \mathcal{E}_{MF} através do gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$) e H_{MF} pelo gráfico ($H \times V_v$), conforme Figura 28 e Figura 29 respectivamente.

Figura 28 – Gráfico ($\varepsilon \times V_v$) representativo ao leito 1 (300g), fluidização em água.



Fonte: Própria (2022).

Figura 29 – Gráfico ($H \times V_v$) representativo ao leito 1 (300g), fluidização em água.

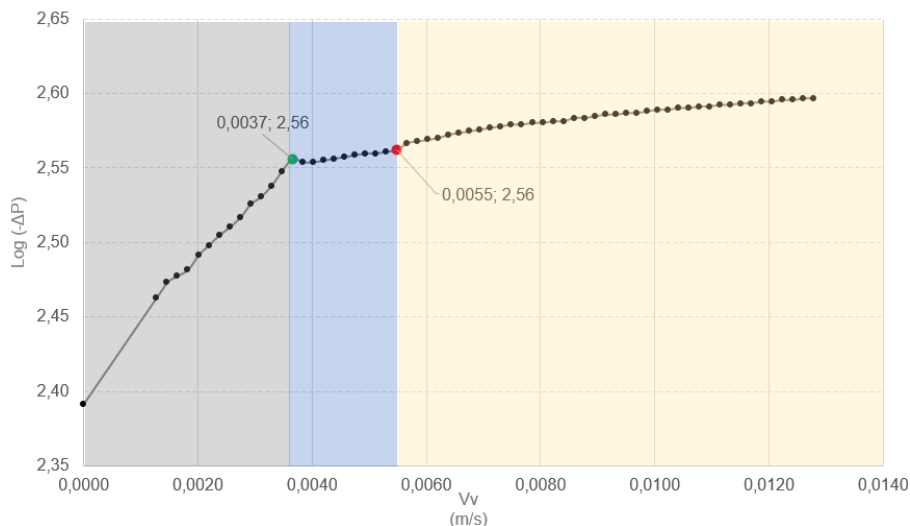


Fonte: Própria (2022).

Através da análise comportamental da curva da Figura 28, o leito ao atingir a velocidade mínima de fluidização (ponto em cor verde), mantém o comportamento de expansão do leito (fluidização em regime homogêneo) até uma repentina estabilização da porosidade (ponto em cor vermelha). A partir desse ponto, experimentalmente, pôde-se observar grande turbulência, podendo-se afirmar que houve alteração no regime do leito, passando a ser um regime heterogêneo borbulhante (porosidade constante). Ainda na Figura 28, no ponto em cor vermelha, para o leito em questão, pôde-se obter um valor limite para o regime particular (V_{MB}), afim de se manter uma fluidização homogênea. Sendo assim, atualizando o gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) com V_{MB} , tem-se

elaborada a Figura 30, onde a área em cinza corresponde ao leito fixo, em azul ao leito em fluidização homogênea e em amarelo uma fluidização heterogênea.

Figura 30 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_V$) representativo ao leito-amostra 1 (300g), fluidização em água.



Fonte: Própria (2022).

Com a elaboração dos gráficos para a amostra 1 (300g), obteve-se os resultados conforme Tabela 08.

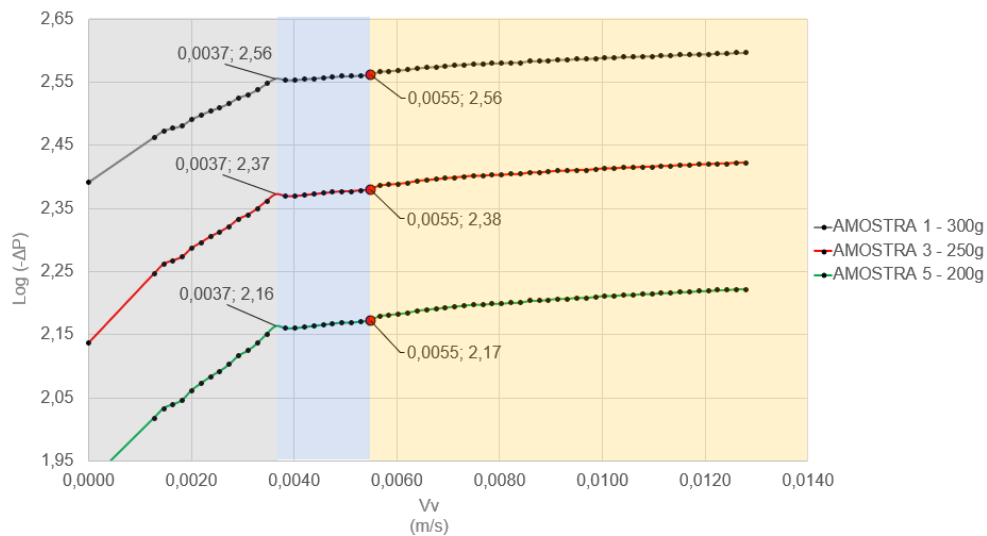
Tabela 08 - Resultados experimentais consolidados para amostra 1, fluidização em água.

Amostra	V_{MF} (m/s)	ϵ_{MF} -	ΔP_{MF} (Pa)	H_{MF} (m)	V_{MB} (m/s)	ϵ_{MB} -	ΔP_{MB} (Pa)	H_{MB} (m)
1	0,0037	0,419	359,8	0,133	0,0055	0,444	364,7	0,139

Fonte: Própria (2022).

Sabendo que as velocidades experimentais são alteradas quando as propriedades do leito (D_P , ρ_P e Φ_P) e/ou do fluido (ρ_F e μ_F) são modificadas, consolidou-se as curvas comportamentais das amostras 1, 3 e 5 e os seus regimes identificados por cores na Figura 31 (gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_V$)) e na Figura 32 (gráfico ($\epsilon \times V_V$)), utilizando a mesma metodologia de análise experimental para o leito 1, obteve-se os dados desejados dos outros leitos. Os dados experimentais obtidos estão consolidados na Tabela 09.

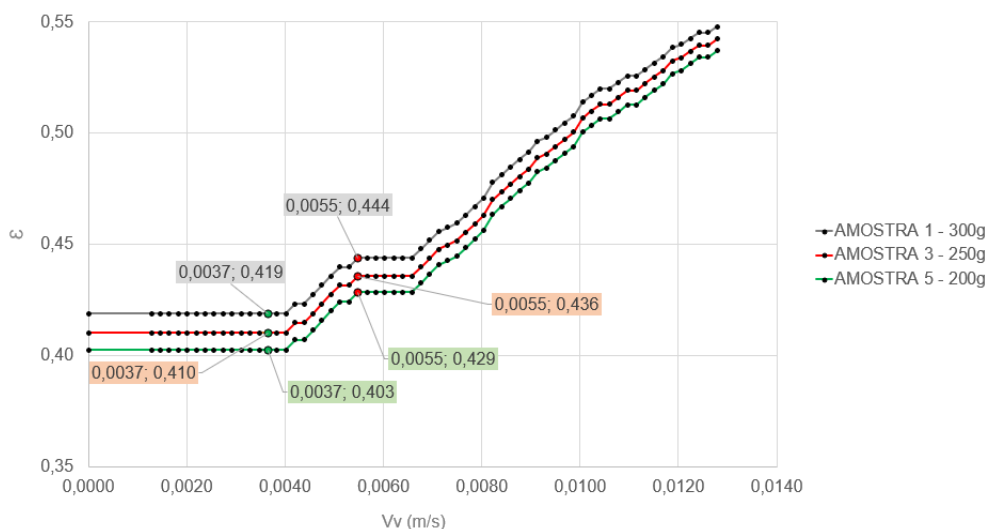
Figura 31 – Gráfico $(\log(-\Delta P) \times V_v)$ representativo para leitos - C1 fluidização em água.



Fonte: Própria (2022).

Observou-se com as curvas comportamentais que todas as amostras obtiveram comportamento muito semelhante entre os leitos, assim, pôde-se comprovar que a V_{MF} (pelo comportamento da curva) e a V_{MB} (pela observação comportamental apontada durante as práticas) possuem o mesmo valor para diferentes quantidades de leito, modificando apenas a queda de pressão, e a mesma é diretamente proporcional à quantidade de partículas no leito.

Figura 32 – Gráfico $(\varepsilon \times V_v)$ representativo para leitos - C1 fluidização em água.



Fonte: Própria (2022).

Não diferente das curvas do gráfico $(\log(-\Delta P) \times V_v)$, as curvas comportamentais da porosidade em função da velocidade superficial (Figura 32) também obtiveram um comportamento muito semelhante entre elas. A porosidade do leito fixo sofre variação

de acordo com a quantidade de partículas, uma vez que alteramos o volume (altura) do leito. Analisando as curvas, verificou-se que após o leito fixo iniciar a sua fluidização, o mesmo sofre expansão constante, até que a sua porosidade chegue a uma estabilidade durante alguns incrementos de velocidade. Essa fixação da porosidade com o acréscimo da velocidade superficial, indica uma mudança de regime homogêneo para heterogêneo, no que se pode observar durante a prática, formação de bolhas a partir dessa velocidade superficial. Essa formação de bolhas, para uma classificação de Geldart do tipo A não era prevista. Pode-se afirmar que o diâmetro das partículas utilizadas seja o fator para formação de bolhas em uma fluidização utilizando água como fluido.

Tabela 09 – Resultados consolidados para amostras fluidizadas em água.

Amostra	V_{MF} (m/s)	ϵ_{MF} -	ΔP_{MF} (Pa)	H_{MF} (m)	V_{MB} (m/s)	ϵ_{MB} -	ΔP_{MB} (Pa)	H_{MB} (m)
1	0,0037	0,419	359,8	0,133	0,0055	0,444	364,7	0,139
3	0,0037	0,410	235,8	0,109	0,0055	0,436	239,9	0,114
5	0,0037	0,403	145,8	0,086	0,0055	0,429	148,8	0,090

Fonte: Própria (2022).

Com os dados consolidados, comparando as velocidades V_{MF} e V_{MB} , tem-se:

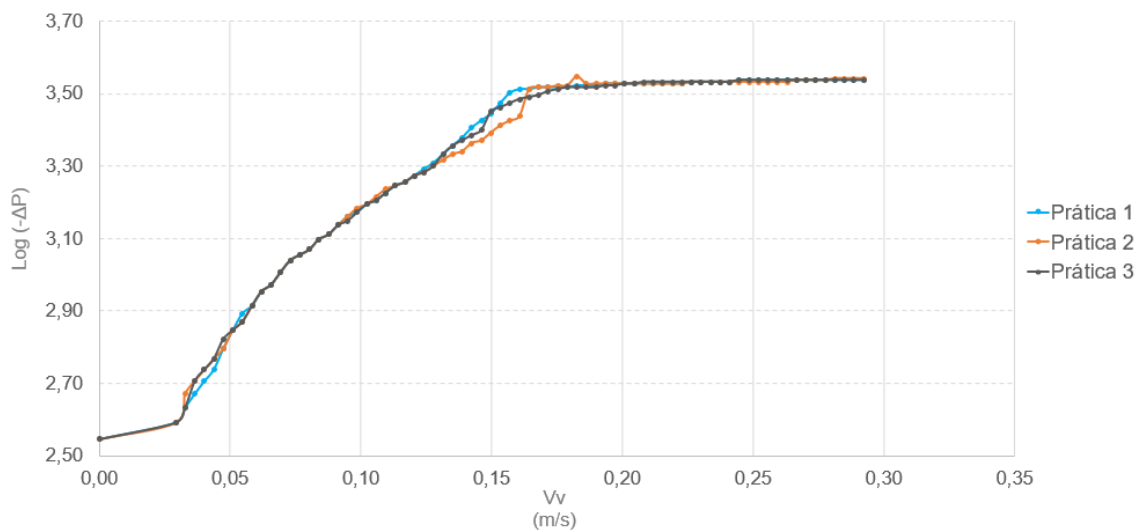
$$V_{MB} = \frac{0,0055}{0,0037} V_{MF} \therefore V_{MB} = 1,49 \cdot V_{MF}$$

Ao analisar o intervalo de velocidade superficial entre a mínima fluidização (V_{MF}) e a de mínimo borbulhamento (V_{MB}), pode-se afirmar que em uma velocidade superficial 1,49 maior que a velocidade mínima de fluidização, para todas as amostras, obtêm-se a geração de uma fluidização agregativa (regime heterogêneo borbulhante), para leitos com as mesmas propriedades aplicadas no experimento.

4.3.2 Resultados Experimentais para Fluidização com Ar

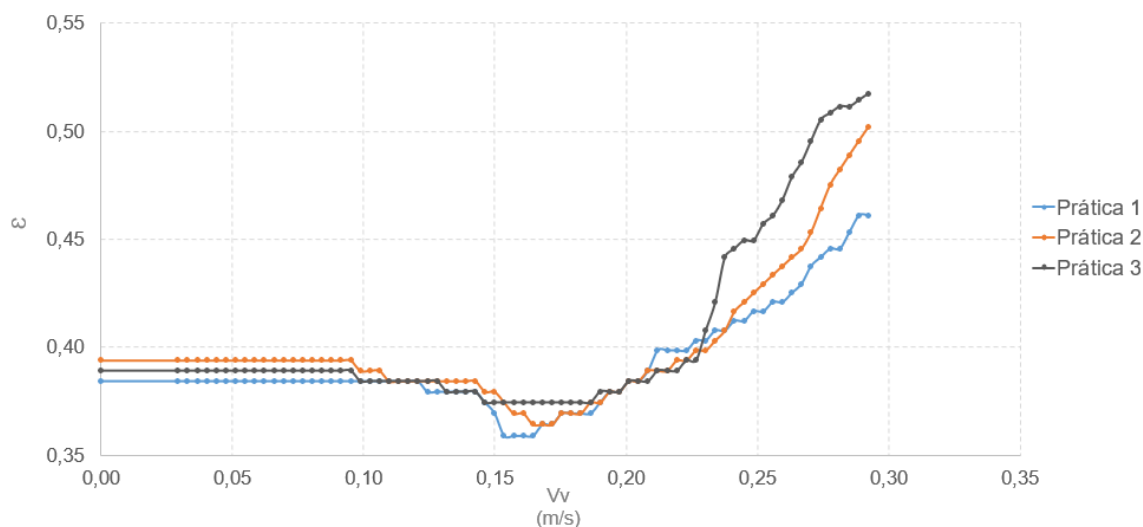
Os gráficos de queda de pressão e porosidade em função da velocidade superficial elaborados utilizando os dados obtidos do leito 2 (Apêndice B) estão representados na Figura 33 e Figura 34 respectivamente para observação comportamental analítica do leito.

Figura 33 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leito 2 (300g), fluidização em ar.



Fonte: Própria (2022).

Figura 34 – Gráfico ($\varepsilon \times V_v$) de práticas utilizando o leito 2 (300g), fluidização em ar.

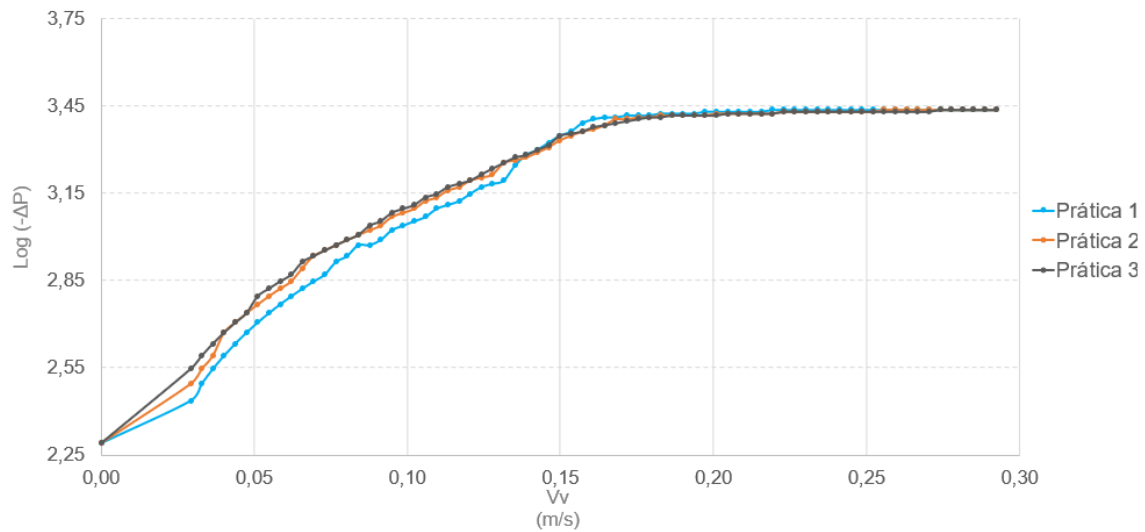


Fonte: Própria (2022).

Pôde-se observar pela Figura 33 que as curvas experimentais das práticas obtiveram um comportamento semelhante entre elas, com a mesma queda de pressão no início do experimento e no final. Já na Figura 34, pôde-se observar que as práticas obtiveram porosidades iniciais distintas. A prática 3 obteve um comportamento constante antes que a mesma iniciasse sua inclinação, além de obter uma maior porosidade final em comparação as outras práticas (partículas menos compactadas).

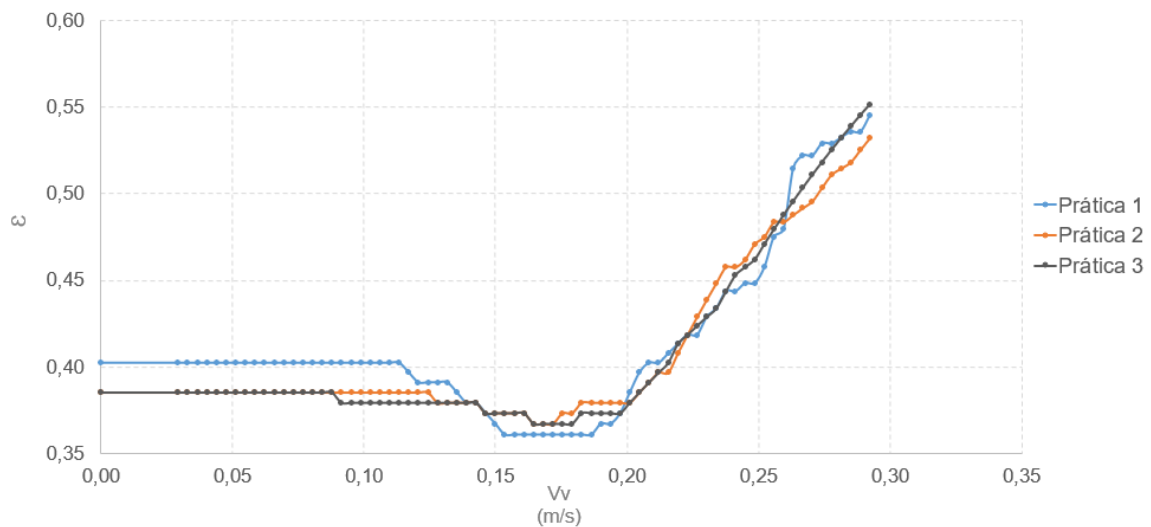
Os gráficos elaborados utilizando os dados obtidos do leito 4 (Apêndice B), estão representados na Figura 35 e Figura 36.

Figura 35 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leito 4 (250g), fluidização em ar.



Fonte: Própria (2022).

Figura 36 – Gráfico ($\varepsilon \times V_v$) de práticas utilizando o leito 4 (250g), fluidização em ar.

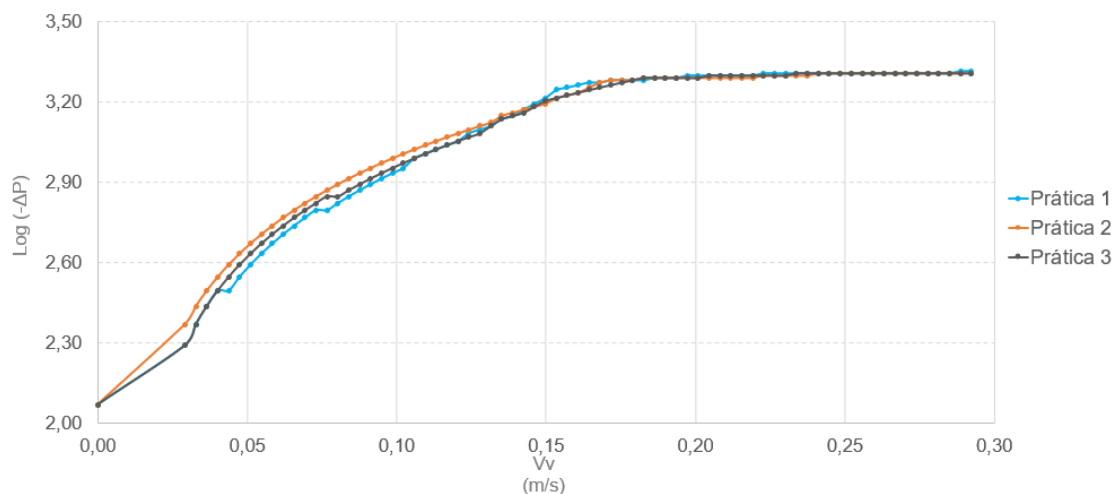


Fonte: Própria (2022).

Na Figura 35, as curvas experimentais das práticas 2 e 3 obtiveram um comportamento semelhante com queda de pressão inicial divergente entre si. Na Figura 36, o comportamento entre as práticas 2 e 3 se manteve, obtendo a mesma porosidade inicial, sendo que a prática 3 obteve uma inclinação em sua reta com angulação quase que constante.

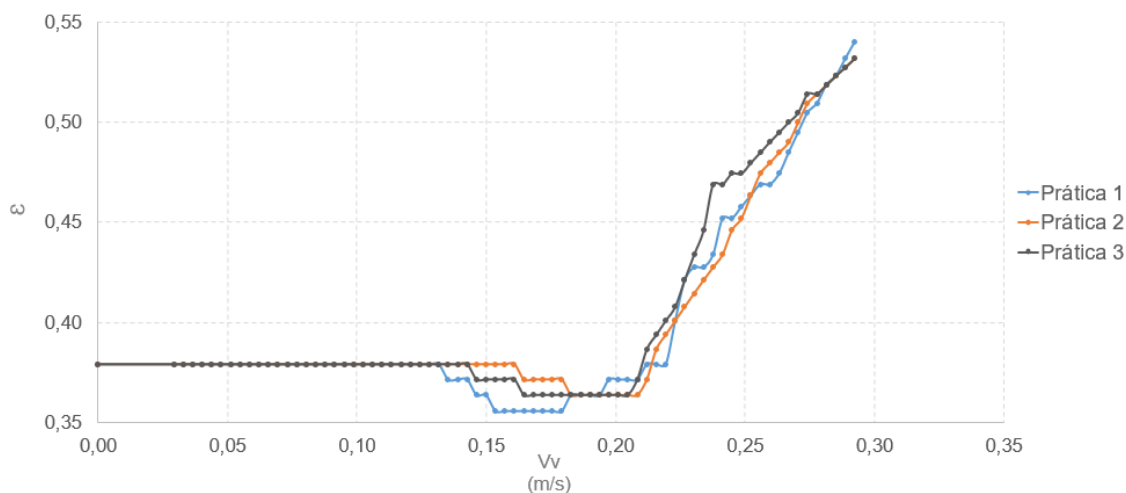
Os gráficos elaborados utilizando os dados obtidos do leito 6 (Apêndice B), estão representados na Figura 37 e Figura 38.

Figura 37 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) de práticas utilizando o leito 6 (200g), fluidização em ar.



Fonte: Própria (2022).

Figura 38 – Gráfico ($\varepsilon \times V_v$) de práticas utilizando o leito 6 (200g), fluidização em ar.

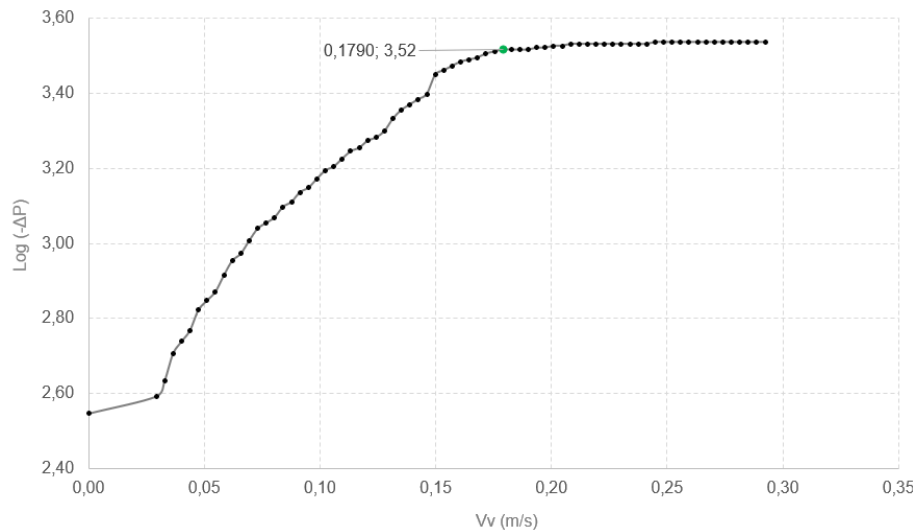


Fonte: Própria (2022).

Na Figura 37, as curvas experimentais obtiveram um comportamento semelhante com queda de pressão inicial, sendo que a curva da prática 2 obteve uma queda de pressão maior. Na Figura 38, as porosidades iniciais em todas as práticas foram iguais, sendo que a prática 3 obteve um maior intervalo de porosidade constante, antes que a mesma iniciasse sua inclinação.

Com a curva comportamental representativa de cada leito, pôde-se obter os dados experimentais (V_{MF} , ε_{MF} , H_{MF} e ΔP_{MF}) identificando nas curvas, o ponto característico de mínima fluidização. A Figura 39 exemplifica a determinação do ponto de mínima fluidização para o leito 2.

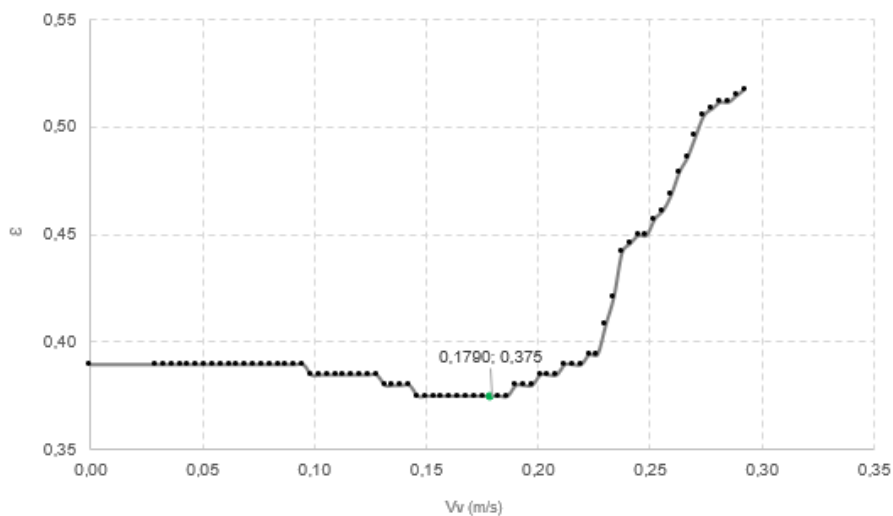
Figura 39 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) representativo ao leito-amostra 2 (300g), fluidização em ar.



Fonte: Própria (2022).

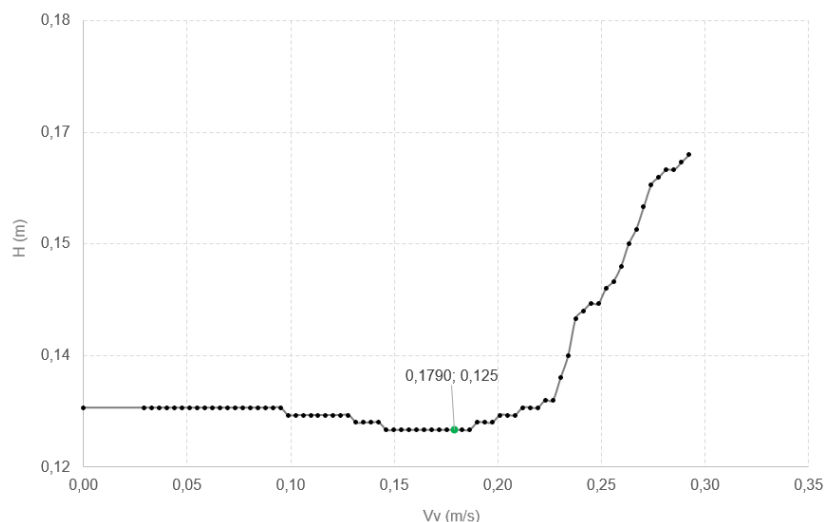
Através da Figura 39, é possível observar que para fluidos com baixas densidades a influência comportamental do fluido sobre o leito é menor (não há desvio na curva no ponto crítico de fluidização como em curvas comportamentais em C1). O comportamento do leito no experimento é mais dependente das propriedades das partículas que formam o leito. O ponto em destaque na cor verde é considerado como o ponto crítico ou mínimo para fluidização, momento em que a queda de pressão começa a ficar estável, ou seja, o leito deixa de ser fixo para um leito fluidizado. Logo, nesse determinado ponto, obteve-se o valor de $V_{MF} = 0,179031$ m/s e de $\log(-\Delta P_{MF}) = 3,52$ (3.285,23 Pa). Com V_{MF} , pode-se obter o valor de \mathcal{E}_{MF} através do gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$) e H_{MF} pelo gráfico ($H \times V_v$), conforme Figura 40 e Figura 41 respectivamente.

Figura 40 – Gráfico ($\varepsilon \times V_v$) representativo ao leito 2 (300g), fluidização em ar.



Fonte: Própria (2022).

Figura 41 – Gráfico ($H \times V_v$) representativo ao leito 2 (300g), fluidização em ar.



Fonte: Própria (2022).

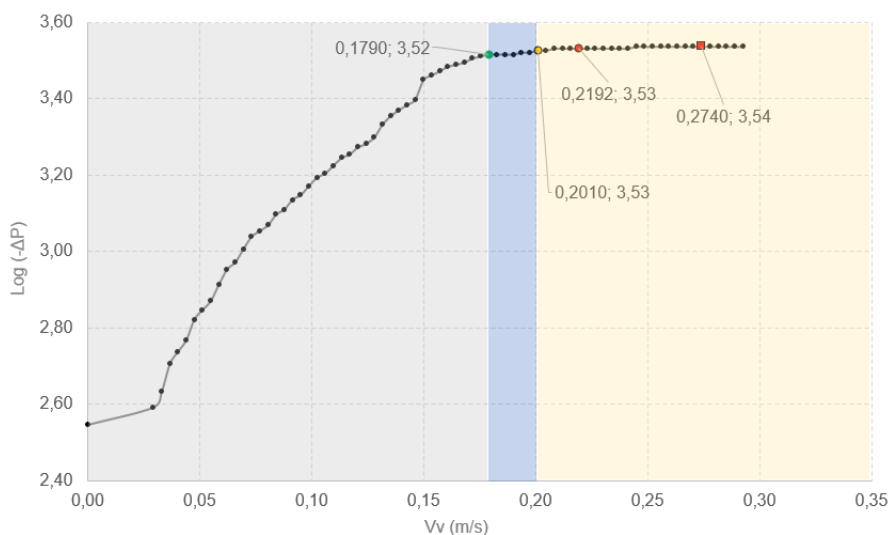
Com a análise comportamental da curva da Figura 40, pôde-se analisar que o leito antes de atingir a velocidade mínima de fluidização sofreu uma diminuição na porosidade do leito (volume vazio do leito diminuiu). Esse comportamento difere dos leitos fluidizados com líquidos (água) e é decorrente do rearranjo das partículas do leito. Uma vez que o diâmetro das partículas varia entre 400 a 600 μm , as partículas menores se movimentam primeiro e se deslocam para a superfície do leito. Quanto maior a variação do tamanho das partículas no leito, mais perceptível esse decréscimo da porosidade e na altura do leito, antes do início da fluidização.

Ao atingir a velocidade mínima de fluidização (ponto em cor verde), o leito perpetua o comportamento de expansão (fluidização em regime homogêneo).

A Figura 42 ilustra a observação experimental em relação aos regimes apresentados pelo leito. Observou-se um regime em leito fixo (cor cinza) até o ponto $V_{MF}=0,179031$ m/s. A partir de V_{MF} , tem-se regime fluidizado homogêneo (cor azul) até $V_{MB}=0,200923$ m/s, onde inicia o regime heterogêneo de leito borbulhante (cor amarelo), neste caso em bolhas até o ponto $V_v=0,219222$ m/s, onde se observou o início de um fluxo pistonado, ainda com presença de bolhas. A partir de $V_{MP}=0,274027$ m/s, o leito estava totalmente em fluxo pistonado, caracterizando um regime heterogêneo com leito pistonado.

Através dos gráficos elaborados, os dados para o leito 2 (300g) estão consolidados na Tabela 10.

Figura 42 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) representativo ao leito 2 (300g), fluidização em ar.



Fonte: Própria (2022).

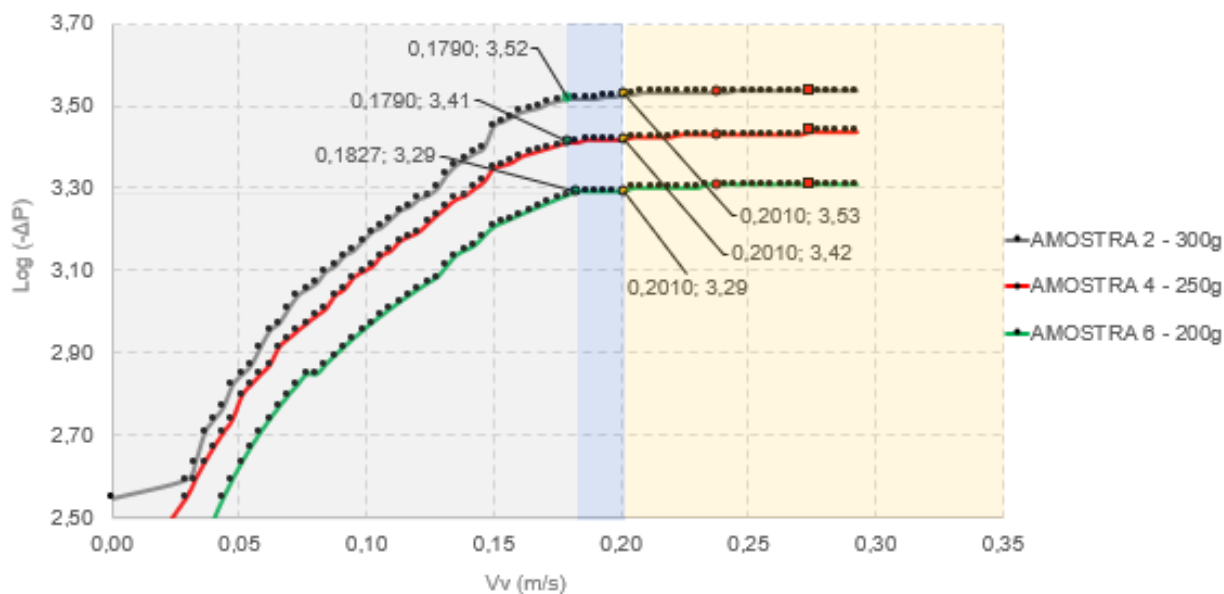
Tabela 10 - Resultados experimentais consolidados para amostra 2, fluidização em ar.

Amostra	V_{MF} (m/s)	ϵ_{MF} -	ΔP_{MF} (KPa)	H_{MF} (m)	V_{MB} (m/s)	ϵ_{MB} -	ΔP_{MB} (KPa)	H_{MB} (m)
2	0,179	0,375	3,29	0,125	0,201	0,384	3,36	0,127

Fonte: Própria.

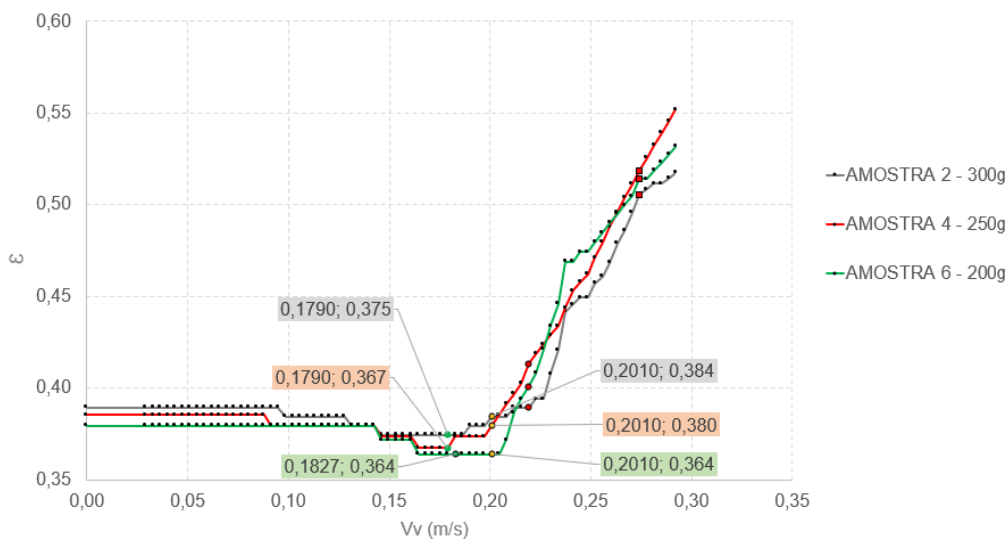
Com a mesma metodologia de análise utilizada para a fluidização com água, elaborou-se as curvas comportamentais das amostras 2, 4 e 6 na Figura 43 (gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$)) e na Figura 44 (gráfico ($\epsilon \times V_v$)) e os dados obtidos estão consolidados na Tabela 11.

Figura 43 – Gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) representativo para leitos – C2 fluidização em ar.



Fonte: Própria (2022).

Observou-se com as curvas comportamentais que todas as amostras obtiveram comportamento muito semelhante entre os leitos, apenas a amostra 6 teve um pequeno desvio no valor de V_{MF} . Os regimes dos leitos são idênticos (identificados em cor cinza para regime em leito fixo, azul para leito fluidizado homogêneo e amarelo para fluidizado heterogêneo), alterando apenas a queda de pressão, pois a mesma é diretamente proporcional à quantidade de partículas no leito. Experimentalmente, todas as amostras obtiveram um comportamento no regime heterogêneo idênticos. No ponto em que $V_v=0,200953$ m/s, os leitos apresentaram um regime heterogêneo com bolhas. No próximo ponto (em vermelho), os leitos apresentaram um início de fluxo pistonado em sua base e bolhas na superfície do leito. No ponto seguinte, a operação possuía bolhas com diâmetro igual ao diâmetro da coluna em direção ascendente em todo o leito, caracterizando um regime heterogêneo de leito pistonado.

Figura 44 – Gráfico ($\epsilon \times V_v$) representativo para leitos – C2 fluidização em ar.

Fonte: Própria (2022).

As curvas comportamentais da porosidade em função da velocidade superficial (Figura 28) tiveram um comportamento semelhante no que diz respeito à porosidade do leito, que sofre variação de acordo com a quantidade de partículas, uma vez que alteramos o volume (altura) do leito. Antes dos leitos fluidizarem, os mesmos sofreram uma acomodação das partículas, ocasionando uma diminuição da porosidade. Pôde-se analisar que após a fluidização do leito, apenas a amostra 6 não expandiu o seu leito (possível histerese, visto que as outras práticas da amostra tiveram comportamento semelhante). Logo após, com o incremento da velocidade superficial, os leitos apresentaram mudança de regime, causando uma alteração na inclinação da respectiva curva.

Tabela 11 – Resultados consolidados para amostras fluidizadas em ar.

Amostra	V_{MF} (m/s)	ϵ_{MF} -	ΔP_{MF} (KPa)	H_{MF} (m)	V_{MB} (m/s)	ϵ_{MB} -	ΔP_{MB} (KPa)	H_{MB} (m)
2	0,179	0,375	3,29	0,125	0,201	0,384	3,36	0,127
4	0,179	0,367	2,58	0,102	0,201	0,380	2,62	0,104
6	0,182	0,364	1,96	0,081	0,201	0,364	1,96	0,081

Fonte: Própria (2022).

Com os dados consolidados, comparando as velocidades V_{MF} e V_{MB} , tem-se:

$$V_{MB} = \frac{0,201}{0,179} V_{MF} \therefore V_{MB} = 1,12 \cdot V_{MF}$$

Ao analisar o intervalo de velocidade superficial entre a mínima fluidização (V_{MF}) e a de mínimo borbulhamento (V_{MB}), para as amostras 2 e 4, pode-se afirmar que em uma velocidade superficial 1,12 maior que a velocidade mínima de fluidização, obtêm-se a geração de uma fluidização agregativa (regime heterogêneo borbulhante), para leitos com as mesmas propriedades aplicadas no experimento. Para a amostra 6, uma velocidade superficial 1,10 maior que a velocidade mínima de fluidização.

4.4 CURVAS TEÓRICAS

A Tabela 12 a seguir, apresenta os resultados teóricos (azul) e experimentais (amarela) consolidados.

Tabela 12 – Dados experimentais e teóricos consolidados.

Amostra	1	3	5	2	4	6
V_{MF} (m/s)	0,0032	0,0030	0,0028	0,2210	0,2132	0,2013
ϵ_{MF}	0,419	0,410	0,402	0,389	0,385	0,379
ΔP_{MF} (Pa)	1180,4	982,6	786,9	1958,3	1616,5	1290,4
H_{MF} (m)	0,133	0,109	0,086	0,128	0,105	0,083
Re_{MF}	1,8321	1,6723	1,5389	0,0083	0,0079	0,0074
V_{MF} (m/s)	0,0037	0,0037	0,0037	0,1790	0,1790	0,1827
ϵ_{MF}	0,419	0,410	0,403	0,375	0,367	0,364
ΔP_{MF} (Pa)	359,8	235,8	145,8	3285,2	2581,3	1955,5
H_{MF} (m)	0,133	0,109	0,086	0,125	0,102	0,081
Re_{MF}	2,0850	2,0547	2,0281	0,0065	0,0065	0,0066

Fonte: Própria (2022).

Analisando os resultados obtidos de velocidades mínimas de fluidização (V_{MF}), as colunas com fluidização em água (C1), obtiveram maior desvio em relação com a C2, sendo que para C1, teve uma tendência de diminuição nesse desvio a medida que o

volume de partículas aumenta. Já na C2, observou-se essa diminuição no desvio a medida que o volume de partículas no leito diminui.

Os resultados obtidos para porosidade em mínima fluidização (ϵ_{MF}) na coluna C2 obtiveram maior desvio e a C1 apresentou um desvio aceitável entre as amostras.

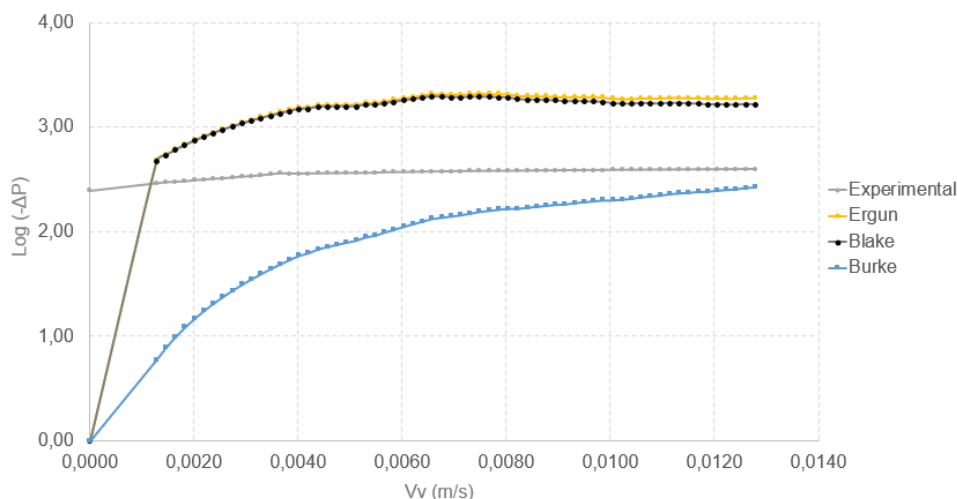
A queda de pressão nas duas colunas obtiveram grandes desvios, sendo que na C1, teve uma tendência de diminuição à medida que o volume das partículas aumente. A C2, obteve tendência na diminuição de desvio, a medida que o volume das partículas abaixa. Essa relação de desvio na coluna C2, deve-se ao fluido absorver as interferências comportamentais das partículas que formam o leito, onde já na coluna C1, sem um fluido denso escoando, as interferências do leito agem diretamente no sistema, sendo o desvio da queda de pressão diretamente proporcional ao volume das partículas.

Na altura de fluidização, apenas a coluna C2 obteve desvio variado, sem tendência de variação devido à dificuldade em observar leitos que possuem formação de bolhas, sendo que a fluidização em ar possui formação de bolhas logo após a fluidização particulada.

4.4.1 Curvas Teóricas para Fluidização com Água

Para o estudo analítico, foram aplicadas as equações para todos os regimes (laminar e turbulento), afim de comprovar o regime em que o experimento está inserido. As equações foram aplicadas em função da porosidade, velocidade superficial, Reynolds do fluxo, altura do leito experimental, além das propriedades dos leitos e fluidos, conforme Figura 45, onde foram aplicadas as equações para o experimento da amostra 1.

Figura 45 – Curvas comportamentais teóricas para leito 1, fluidização em água.



Fonte: Própria (2022).

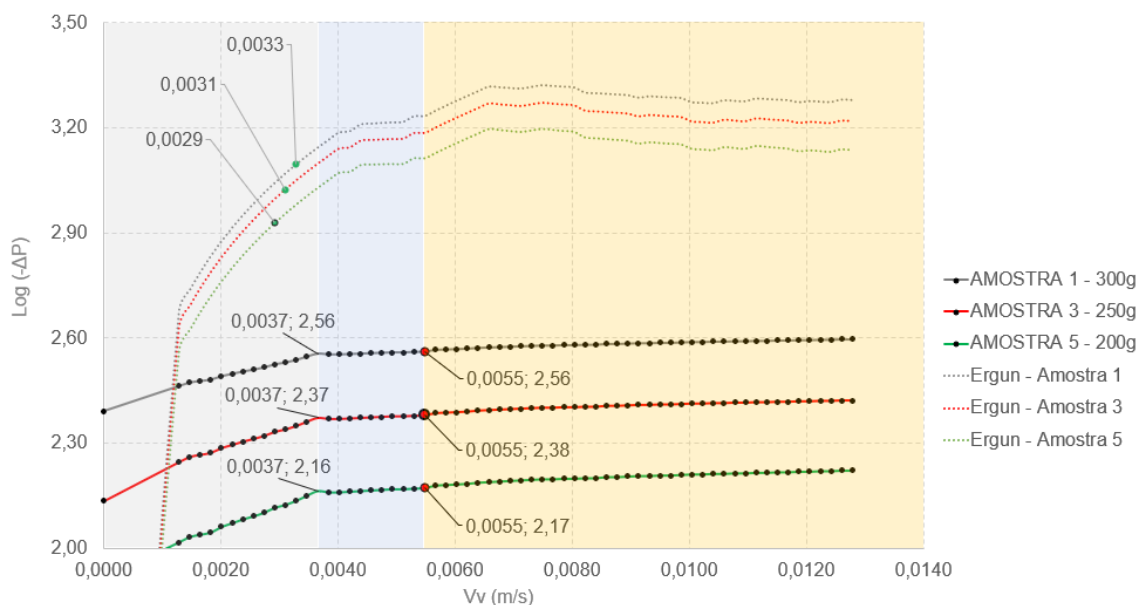
A curva de Ergun, que corresponde a um comportamento abrangente aos regimes laminar e turbulento, a mesma possui um comportamento semelhante à curva de Blake (regime laminar) em todas as amostras, e com grandes incrementos, a curva experimental possuiu tendência à curva de Burke (turbulento).

Conforme a Figura 46, as curvas teóricas elaboradas possuem um comportamento idêntico entre si durante o incremento de velocidade superficial, sendo que as curvas com maior quantidade de leito possuem maior queda de pressão.

As curvas teóricas obtiveram uma queda de pressão maior do que a experimental, essa divergência pode ter relação com as características das partículas, sendo as mesmas consideradas esferas perfeitas, teriam melhor acomodação no leito, sofrendo menor queda de pressão.

Como esperado, a velocidade mínima de fluidização experimental obteve um resultado maior do que as velocidades teóricas, uma vez que as velocidades teóricas foram obtidas através do conceito teórico em que a porosidade de mínima fluidização é a porosidade inicial do leito.

Figura 46 – Curvas teóricas e curvas experimentais com os regimes observados para amostras fluidizadas em água.



Fonte: Própria (2022).

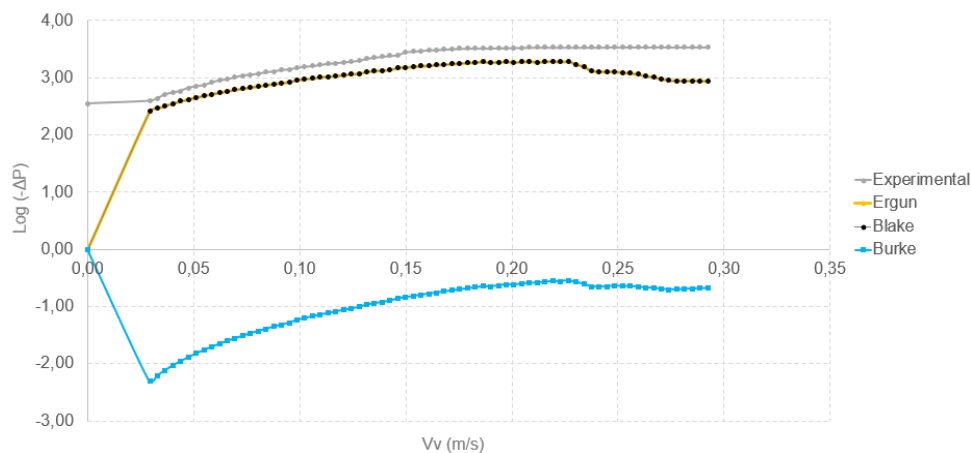
De acordo com o comportamento das curvas teóricas, esperava-se uma mudança de regime para heterogêneo borbulhante (ponto onde há grande incremento na queda de pressão). Durante o experimento, o regime borbulhante foi perceptível, porém, conforme Figura 30 acima, nenhuma das curvas comportamentais experimentais do

gráfico ($\log(-\Delta P) \times V_v$) apresentaram comportamento para esse regime, apenas no gráfico ($\mathcal{E} \times V_v$).

4.4.2 Curvas Teóricas para Fluidização com Ar

Assim como nos experimentos para fluidos com água, a Figura 47 ilustra o resultado da aplicação das equações para todos os regimes (laminar e turbulento), utilizando o leito 2.

Figura 47 – Curvas comportamentais teóricas para leito 2, fluidização em ar.



Fonte: Própria (2022).

O comportamento da curva experimental é semelhante à curva de Blake (regime laminar) em todas as amostras.

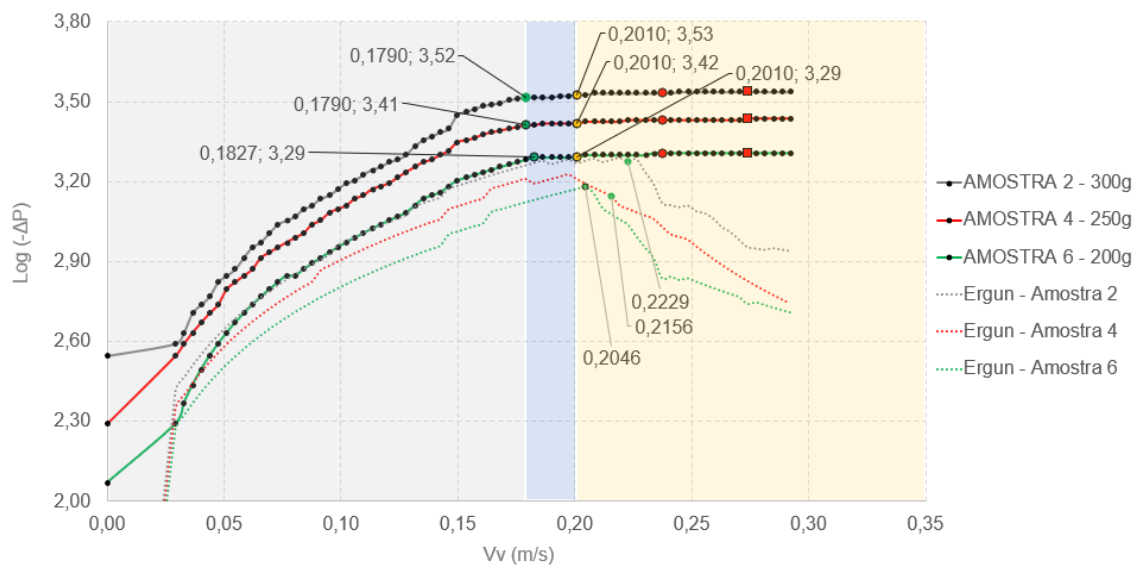
Conforme Figura 48, as curvas teóricas elaboradas possuem um comportamento idêntico entre si durante o incremento de velocidade superficial, sendo que as curvas com maior quantidade de leito possuem maior queda de pressão.

As curvas teóricas obtiveram uma queda de pressão menor do que a experimental, porém, possuem um desvio aceitável na região de regime particular.

As velocidades mínimas de fluidização teóricas obtiveram resultados muito divergentes entre si, e muito maior ao se comparar com as velocidades mínimas de fluidização experimental. As velocidades mínimas teóricas ficaram presentes no regime heterogêneo ao se comparar com a prática experimental, além de identificar um comportamento de arraste, logo após o início da fluidização. Essa divergência comportamental entre a prática e a experimental, pode ser correlacionada pela grande interferência das características das partículas sobre o sistema de fluidização e por possuírem uma previsibilidade de Geldart fronteira entre A e B. No que se diz respeito

à análise de curvas, as experimentais se comportaram como tipo A e as teóricas como tipo B.

Figura 48 – Curvas teóricas e curvas experimentais com os regimes observados para amostras fluidizadas em ar.



Fonte: Própria (2022).

5 CONCLUSÕES

Os comportamentos adversos e interferências das propriedades do leito nos sistemas observados durante estudo experimental, como, incrustações do leito, histereses, foram observadas durante as práticas laboratoriais. O leito exerceu influência direta nas características da fluidização, influência essa, minimizada quando a fluidização ocorria com água, ou seja, o balanço de movimentos e energia geradas pelas partículas eram distribuídas com a interação de um fluido mais denso.

Os resultados experimentais no ponto crítico para fluidização foram obtidos, assim como, comparados com os valores teóricos, obtendo desvio entre os mesmos.

Os resultados obtidos neste estudo e com as metodologias empregadas demonstraram que as curvas comportamentais são essenciais para determinação do início de fluidização, sendo ela particular ou agregativa. Com a comparação com as curvas teóricas é possível realizar abrangência do conhecimento e assim, observar e determinar um comportamento inerente ao fluido e/ou ao leito.

O estudo também possibilitou a observação de regimes particular e agregativo, assim como, verificar experimentalmente as características e comportamentos de leito fixo, fluidizado, borbulante e pneumático. Além de possibilitar análise comparativa comportamental de leitos com as mesmas propriedades com fluidos de diferentes características e propriedades.

Com as curvas comportamentais, a observação experimental e os dados calculados, obteve-se o intervalo para fluidização particular, em que o intervalo para um fluidização com água foi 25% maior que o intervalo de fluidização particulada com ar.

O equipamento fluidizador Didatech de escala laboratorial torna possível observar os regimes de fluidização em fluidos com propriedades distintas, sendo que em fluidos com baixa densidade (gases), a operação está suscetível às interferências oriundas das características das partículas que formam o leito, principalmente em elevadas vazões. Com a aplicação de um fluido denso na operação, essas interferências são minimizadas, dando novas características comportamentais aos regimes de fluidização do leito, podendo-se chegar à fluidização do leito em vazões menores. Tendo em vista um projeto industrial, a fluidização com fluidos densos é mais cara, podendo ter complexa instalação, porém, o seu custo operacional pode ser baixo, a depender da disponibilidade dos insumos.

6 PERSPECTIVAS

- Recomenda-se para futuros estudos em leitos fluidizados, práticas com maior quantidade de partículas para estudo comportamental em leitos com grande diferença na queda de pressão;
- Recomenda-se a elaboração de roteiro experimental para trabalho com leitos fixos e fluidizados com incremento e decréscimo de vazão;
- Recomenda-se planejar a utilização de uso do equipamento afim de evitar incrustações em seu sistema;
- Recomenda-se verificar a possibilidade de obtenção e utilização de outros tipos de partículas para estudo experimental com diferentes diâmetros de partículas;
- Recomenda-se verificar a possibilidade de utilização de outro líquido para estudo experimental na coluna C1;
- Recomenda-se para futuros estudos em fluidização agregativa;
- Recomenda-se a aplicação de modelagem a futuros estudos experimentais.

REFERÊNCIAS

- ALBRIGHT, Lyle Frederick. **Albright's Chemical Engineering Handbook**. Indiana, USA: CRC Press Taylor & Francis Group, 2008.
- BASU, Prabir. **Combustion and gasification in fluidized beds**. 1.ed. Florida, USA: CRC Press Taylor & Francis Group, 2006.
- BIRD, R. Byron; STEWART, Warren E.; LIGHFOOT, Edwin N. **Transport Phenomena**. 2.ed. Palatino, USA: John Wiley & Sons, 2002.
- CREMASCO, Marco Aurélio. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos**. 3.ed. São Paulo: Editora Blucher, 2018.
- DELANCEY, George. **Principles of chemical engineering practice**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.
- DIDATECH. **Aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados**. Manual do professor/estudante, 2015.
- DORAISWAMY, L.K.; ÜNER, Deniz. **Chemical Reaction Engineering: Beyond the Fundamentals**. Florida, USA: CRC Press Taylor & Francis Group, 2014.
- FELIPE, Carlos Alberto Severo. **Identificação e Monitoramento de Regime Fluidodinâmico em Leitos Fluidizados Gás-Sólido**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- KUNII, Daizo; LEVENSPIEL, Octave. **Fluidization Engineering**. 2.ed. USA: Butterworth-Heinemann, 1991.
- LI, Bin. **Chemical Engineering and Material Properties II**. 2.ed. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2012.
- LOPES, Narrymã Poline Fonseca; VIANA, João Herbert Moreira. **Determinação da densidade de horizontes cascalhentos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 4p. (Embrapa Milho e Sorgo). Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/991270/1/Determinacaodensidade.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2022.
- MACHADO, José Carlos V. **Reologia e escoamento de fluidos**. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 2002.
- MARINI, Fábio. **Simulação de um leito fluidizado aplicando a técnica CFD baseada na teoria cinética do escoamento granular**. Monografia (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- MELO, Braulio Almeida de. **Avaliação computacional de um sistema de gaseificação em leito fluidizado utilizando o software CSFB**. Monografia (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.

MOSKEN, Gabriela Mello. **Adequação da prática de laboratório de engenharia química de leito fluidizado.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

OLIVEIRA, Tiago José Pires de. **Aspectos fluidodinâmicos de misturas binárias de resíduo de tabaco e areia em leito fluidizado.** Monografia (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

PERRY, Robert H.; GREEN, Don W. **Perry's Chemical Engineer's Handbook.** 8.ed. USA: The McGraw-Hill Companies, 2008.

RODRIGUEZ, Luis Alfonso Zuluaga. **Estudos dos Parâmetros de Projetos e Teste de Fluidização em Bancada de Leito Fluidizado Borbulhante.** Monografia (Mestrado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2021.

SANTOS, Lukas Bobato Daldim dos. **Estudo de Leito Fluidizado Circulante com Fluxo de Ar Pulsante.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Departamento Acadêmico de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

SCHASCHKE, Carl. **Dictionary of Chemical Engineering.** 1.ed. Oxford, UK: Oxford University Press, 2014.

SHREVE, R. N.; BRINK, A. J. **Indústria de Processos Químicos.** 4.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan Ltda., 1997.

TAMBOURGI, Elias Basile. **Transporte de Partículas em Leitões Fluidizados.** Monografia (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1982.

TERRON, Luiz Roberto. **Operações unitárias para químicos, farmacêuticos e engenheiros: Fundamentos e operações unitárias do escoamento de fluidos.** Rio de Janeiro: LTC- Livros técnicos e científicos editora Ltda., 2012.

TREYBAL, Robert E.. **Mass-transfer operations.** 3.ed. Singapore: McGraw-Hill Book Co, 1981.

VEGA, Julio M. Rosabal; MATOS, Manuel Valle. **Hidrodinâmica y Separaciones Mecánicas Tomo 2.** 1.ed. Havana: Editora ENPES, 1998.

VEGA, Julio M. Rosabal; PUYANS, Leonel Garcell. **Hidrodinâmica y Separaciones Mecánicas Tomo 1.** 2.ed. Havana: Editora Félix Varela, 2006.

VIANA, J. H. M. **Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 11p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 154). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/491716/1/Com154.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2022.

ZHANG, Kai; BRANDANI, Stefano; BI, Jicheng.; JIANG, Jianchun; **CFD Simulation of fluidization quality in the three-dimensional fluidized bed.** Elsevier Limited and Science in China Press, 2008, p.729-733, jan.-feb. 2008.

ANEXOS

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

**Aparato para Estudo de
Leitos Fixos e Fluidizados**

FFB/EV

Manual do Usuário Professor/estudante

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.**DIDATECH**Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

DIDATECH

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

Índice

1. SUMÁRIO DA TEORIA.....	5
1.1 Introdução	5
1.2 Equações de fluidização.....	8
1.3 Observação em leito sólido	11
2. O EQUIPAMENTO PARA ESTUDO DE LEITOS FIXOS E FLUIDIZADOS.....	13
2.1 Descrição.....	13
2.2 Características técnicas.....	13
3. INSTRUÇÕES DE OPERAÇÃO	15
3.1 Teste usando ar como fluido.....	15
3.2 Teste usando água como fluido.....	15
3.3 Troca de material do leito.....	16
4. EXPERIMENTOS.....	19
4.1 Determinação da porosidade do leito.....	19
4.2 Fluidização com água.....	19
4.3 Fluidização com ar.....	21
5. SEGURANÇA.....	25

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

1. SUMÁRIO DA TEORIA

1.1 Introdução

Muitos processos industriais importantes (secagem, reações catalíticas, troca iônica, combustão, etc.) dependem do contato estreito entre um fluido (líquido ou gás) e um material granulado.

Na técnica tradicional, o sólido é apoiado em uma grade e o fluido é alimentado através do sólido estacionário.

Com vazões muito baixas, o fluido passará entre as partículas, através dos interstícios no leito. O fluido não será uniformemente distribuído ao longo do leito com fluxo preferencial; esse fenômeno é denominado "canalização", e as consequências são claras.

Nessas condições, o leito é denominado "leito estático"; esses leitos são simples, robustos e baratos, mas relativamente pobres do ponto de vista do contato fluido/sólido.

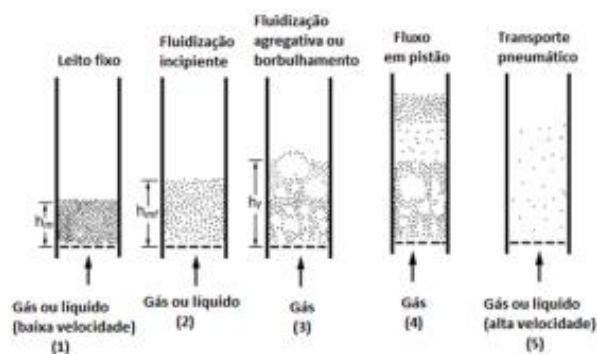


Fig. 1.1

À medida que a vazão é aumentada, a força exercida pelo fluido sobre as partículas torna-se suficiente para levantar a partícula do leito e para separá-la de seus vizinhos; esse fenômeno é denominado "fluidização incipiente", e o leito, "leito fluidizado".

Nesse estado, há um aumento imediato do contato sólido/líquido, uma vez que toda a superfície do sólido fica disponível ao fluido.

Neste ponto, ocorre pouco ou nenhum movimento relativo das partículas, e o leito fluidizado é similar ao leito estático anterior, estendido um pouco para separar as partículas.

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

Um aumento adicional do fluxo iniciará um processo de mistura que pode ficar sem dúvida muito violento, tal que todo o leito se assemelhe a um líquido em ebulição. Este estado representa a real vantagem da fluidização, pois a mistura propicia um contato sólido/líquido muito bom, e as transferências de massa e de calor são incrementadas em comparação com as taxas de transferência convencionais.

Essa fase do processo de fluidização é descrita como "fase densa": o leito está contido no tubo e tem uma superfície superior facilmente reconhecível.

Entretanto, à medida que a vazão de fluido é aumentada ainda mais, as forças de arrasto chegam a sobrepujar as forças gravitacionais e as partículas serão erguidas do leito; essa remoção é conhecida como "elutriação". Em casos extremos, todo o sólido é deslocado, resultando em uma fluidização de transporte hidráulico ou de fase dispersa.

O maior interesse na fluidização na fase densa consiste, assim, em alcançar um bom aspecto de mistura.

Se o meio de fluidização for um líquido, as partículas permanecerão substancialmente separadas e a densidade do leito, a certa velocidade, será igual em todas as suas seções (fluidização uniforme). Este modo é denominado "fluidização particulada".

Se o meio for um gás, o gás passa através do leito fluidizado sob a forma de bolhas livres do sólido; a natureza não uniforme do leito se deve à agregação das partículas, e por isso esse modo é denominado "fluidização agregativa"; porém, como as partículas ficam grudadas, o termo "fluidização de borbulhamento" proporciona uma melhor descrição do fenômeno.

Este modo não é muito conveniente na prática, além de ser de difícil tratamento teórico, mas é o modo típico de fluidização, por isso não é fácil nem barato mudar.

As duas maiores imperfeições operacionais encontradas em trabalhos com leitos fluidizados são a "canalização" e o "fluxo em pistão" (slugging).

A primeira, dependente essencialmente das propriedades do sólido e do fluido, surge em leitos estáticos.

O fluxo em pistão de um gás, ou "slugging", depende essencialmente do projeto do equipamento, enquanto que as propriedades do sólido e do fluido têm uma importância menor. Este fenômeno é verificado quando as bolhas de fluido se agregam para se aproximar do diâmetro do leito (por ex., coluna de diâmetro pequeno, leito profundo), com os sólidos sendo empurrados para cima como um pistão e em seguida caindo pelas bolhas ou causando a desintegração da bolha. Esse fenômeno é mais comum em fluidização gasosa – de fato, é razoável dizer a maioria dos problemas é muito mais severa com um meio gasoso do que com um meio líquido.

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

Resumindo:

- a fluidização pode ser classificada em "fluidização particulada" e "fluidização por borbulhamento".
- a fluidização particulada ocorre em líquidos. À medida que a velocidade do líquido ultrapassa a velocidade mínima de fluidização, o leito se expande uniformemente, e prevalecem condições uniformes na mistura líquido-sólido.

Em contraste:

- a fluidização por borbulhamento ocorre em leitos fluidizados a gás: quando o leito se fluidiza, grandes bolsões de gás, livres de partículas, surgem através do leito. Onde há partículas, a fração vazia do leito tem aproximadamente o valor que predomina no ponto de fluidização incipiente.
- as bolhas poderiam crescer até preencher a seção transversal, em seguida bolhas sucessivas sobem pela coluna, uma condição conhecida como fluxo de pistão ou "slugging".

A classificação acima não deve ser interpretada rigidamente. Geralmente, isso ocorre a baixas velocidades, e, a velocidades maiores, o leito apresenta borbulhamento.

Se o fluido fosse mais denso (por ex., um gás com a alta pressão estática de um líquido), ou se as partículas fossem mais finas (20 a 100 μm) e menos densas ($< 1400 \text{ kg m}^{-3}$), o leito seria capaz de sustentar um grau de expansão estável (fluidização particulada). O leito permaneceria estável até que a velocidade U_{mf} (velocidade mínima de fluidização) seja excedida por um fator 2 ou 3.

Em contraste, ao usar gás para fluidizar um leito, o leito poderia colapsar e reiniciar o borbulhamento, com um maior aumento na velocidade do gás.

Um leito fluidizado líquido continua a se expandir estavelmente com velocidade crescente, resultando em uma condição fluidizada sem borbulhamento, conhecida como leito inativo.

Com partículas mais finas, menos densas e coesivas, é muito difícil fluidizar um leito, porque as forças interparticulares se tornam mais intensas do que as gravitacionais. As partículas tendem a grudar umas nas outras, e o gás passa através do leito formando canais.

Além disso, quando as partículas fluidizadas que são geralmente maiores do que 600 μm e/ou mais densas do que 4000 kg/m^3 , o leito se fluidiza de modo menos estável do que o leito com alumina, e o comportamento do borbulhamento é diferente. Frequentemente, conclusões gerais injustificadas são tiradas de observações particulares devido a uma carência de compreensão da extraordinária e ampla gama de comportamentos que se podem verificar segundo as condições de funcionamento e as propriedades do material do leito.

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

As vantagens da técnica de fluidização são várias:

- a maior área superficial entre as partículas e o fluido promove operações de transferência de calor e de massa;
- a facilidade de transporte de leitos fluidizados;
- as excelentes propriedades de transferência de calor do leito fluidizado a gás.

A agitação geradora de bolhas mantém a maior parte do leito em condições isotérmicas, e entre o leito e as superfícies submersas podem-se alcançar altas taxas de transferência de calor.

Reatores de leito fluidizado são muito usados na regulação de temperatura de reações altamente exotérmicas.

As desvantagens são:

- as velocidades de rendimento do fluido se limitam à região em que o leito se fluidiza. Se a velocidade for muito alta, poderá se verificar uma perda excessiva de material do leito, e também um dano inaceitável às partículas, devido a uma velocidade de funcionamento excessiva;
- a potência de bombeamento fornecida para fluidizar o leito pode ser excessiva para leitos muito grandes e profundos;
- o tamanho e o tipo das partículas que podem passar por essa técnica são limitados;
- devido à complexidade do comportamento do leito fluidizante, muitas vezes é difícil tentar obter unidades industriais a partir de modelos em escala menor.

1.2 Equações de fluidização

A queda de pressão requerida para que um fluido flua por um meio poroso, como um leito de partículas sólidas, pode ser calculada usando várias equações.

A **equação de Ergun**, comumente usada, é apresentada abaixo.

$$f_p = \frac{150}{Re_p} + 1,75 \quad (1.2.1)$$

Aqui, o fator de atrito, f_p , para o leito compacto, e o número de Reynolds, Re_p , são definidos como segue.

$$f_p = \frac{\Delta P}{H} \cdot \frac{D_p}{\rho u_s^2} \cdot \frac{\epsilon^3}{1-\epsilon} \quad (1.2.2)$$

$$Re_p = \frac{D_p u_s \rho}{(1-\epsilon)\mu} \quad (1.2.2a)$$

Os vários símbolos que aparecem nas equações acima são definidos abaixo.

- ΔP = queda de pressão
 H = comprimento do leito
 D_p = diâmetro esférico equivalente da partícula: $D_p = \frac{6}{\text{volume da partícula} / \text{área da superfície da partícula}}$
 ρ = densidade do fluido

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

- μ = viscosidade dinâmica do fluido
- u_s = velocidade superficial ($u = Q/A$, onde Q é a vazão volumétrica do fluido e A é a área da seção transversal do leito)
- ϵ = porosidade ou fração de volume vazio do leito sólido (ϵ é a razão entre o volume vazio e o volume total do leito)

Dois resultados mais simples, cada um obtido ignorando um ou outro termo da equação de Ergun, também são usados:

Um deles é a equação de **Kozeny-Carman**, usada para fluxo em condições muito viscosas.

$$f_p = \frac{150}{Re_p} \quad Re_p \leq 1 \quad (1.2.3)$$

O outro é a **equação de Burke-Palmer**, usada quando os efeitos da viscosidade não são tão importantes quanto a inércia.

$$f_p = 1,75 \quad Re_p \geq 1000$$

Quando um fluido flui através de um leito de partículas em um tubo, ele exerce uma força de arrasto sobre as partículas, resultando em uma queda de pressão ao longo do leito. À medida que a velocidade superficial do fluido aumenta, a queda de pressão é ampliada. Em um leito em que o fluido flui para cima, encontra-se uma condição em que, com a velocidade crescente do fluido, as forças de arrasto farão com que o leito se expanda. Esta expansão permite que as partículas ofereçam menos resistência ao fluxo do fluido. Quando a força de arrasto for suficiente para suportar o peso das partículas no leito, o leito é dito fluidizado. O sistema fluido/sólido apresenta propriedades de fluido, e pode-se fazer o leito fluir de um recipiente para outro. A queda de pressão ao longo do leito, ΔP , permanece então constante (mesmo com um maior aumento da velocidade do fluido) e igual ao peso efetivo do leito por unidade de área:

$$\Delta P = g(1 - \epsilon)(\rho_p - \rho_f) \cdot h \quad (1.2.4)$$

- g = aceleração gravitacional
- ϵ = porosidade ou fração de volume dos vazios do leito sólido
- ΔP = queda de pressão ao longo do leito
- ρ_p = densidade das partículas
- ρ_f = densidade do fluido
- h = comprimento do leito

À medida que a velocidade do gás, u , é aumentada além daquela necessária para levar o leito à condição de fluidização, u_{mf} , a equação 1.2.4 se torna:

$$\Delta P = g(1 - \epsilon_{mf})(\rho_p - \rho_f) \cdot h_{mf} \quad (1.2.5)$$

ϵ_{mf} = porosidade mínima em condição de fluidização incipiente

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

Tipicamente, para um leito de partículas pequenas ($D_p \leq 0,1 \text{ mm}$), as condições de fluxo nessa fase levam a um número de Reynolds relativamente pequeno ($Re_p < 10$); assim, podemos usar a equação de Kozeny-Carman, aplicável ao regime de fluxo viscoso, para estabelecer o ponto de início da fluidização.

Isso resulta:

$$u_{mf} = \frac{(\rho_p - \rho_f) g \cdot D_p^2}{150 \mu} \cdot \frac{\epsilon_{mf}^3}{1 - \epsilon_{mf}} \quad (1.2.6)$$

Quando a velocidade superficial u é igual a u_{mf} , referimo-nos ao estado do leito como de **fluidização incipiente**. A fração vazia, ϵ , nesse estado depende do material, da forma e do tamanho das partículas.

Para partículas aproximadamente esféricas (pequenas), ϵ fica na faixa entre 0,40 – 0,45, aumentando com o tamanho das partículas.

Para partículas grandes ($D_p \leq 0,1 \text{ mm}$), os efeitos inerciais são importantes, e a equação de Ergun completa deve ser usada para determinar u . Quando em dúvida, use a equação de Ergun em vez de uma versão simplificada.

Agora, consideremos a condição que devemos impor à velocidade superficial para que as partículas não sejam carregadas pelo fluido na saída. Isso ocorreria se a velocidade superficial fosse igual à velocidade de decantação das partículas. Restringindo o foco às partículas menores, de modo que a lei de Stokes possa ser usada para calcular sua velocidade de decantação, podemos escrever:

$$u_{dec} = \frac{(\rho_p - \rho_f) g \cdot D_p^2}{18 \mu} \quad (1.2.7)$$

Se usarmos agora o resultado para a velocidade mínima de fluidização para o caso de partículas pequenas, dado acima, vemos que a razão

$$\frac{u_{dec}}{u_{mf}} = \frac{25}{3} \cdot \frac{1 - \epsilon}{\epsilon^3} \quad (1.2.8)$$

Para ϵ na faixa 0,40 – 0,45, isso resulta uma razão que vai de 50 a 78.

Assim, como nem todas as partículas são do mesmo tamanho, e é considerado apenas um tamanho médio, observa-se que nesta situação as partículas finas podem ser carregadas pelo fluido.

Para materiais que não apresentam porosidade interna, o espaço vazio pode ser estimado a partir da densidade do sólido ρ_s e da densidade do leito, ρ_x :

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p} \quad (1.2.9)$$

$$\epsilon_{mf} = 1 - \frac{\rho_{bmf}}{\rho_p} \quad (1.2.10)$$

$$\rho_{bmf} = \frac{\text{massa das partículas no leito}}{\text{volume do leito a } u_{mf}}$$

1.3 Observação em leito sólido

Consideramos o comportamento de um leito de partículas quando a velocidade superficial ascendente do fluido é gradualmente aumentada de zero até passar pelo ponto de fluidização, e em seguida reduzida novamente a zero.

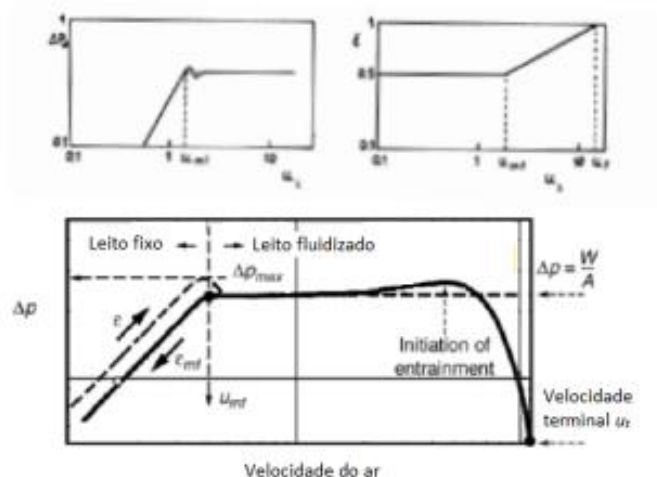


Fig. 1.3.1

Primeiramente, quando a vazão é zero, a queda de pressão é zero, e o leito tem uma certa altura. À medida que prosseguimos ao longo da flecha para a direita (fig. 1.3.1), na direção do aumento da velocidade, a queda de pressão aumenta gradualmente, enquanto a altura do leito permanece fixa. Essa é uma região em que a equação de Ergun para um leito compacto pode ser usada para relacionar a queda de pressão com a velocidade. Quando a velocidade u_{mf} é alcançada, o leito começa a se estender na altura, enquanto que a queda de pressão se estabiliza e não aumenta mais, embora a velocidade superficial aumente. Isso ocorre quando a força para cima exercida sobre as partículas é suficiente para equilibrar o peso líquido do leito (W), e as partículas começam a se destacar e a flutuar no fluido.

À medida que a velocidade é aumentada ainda mais, o leito continua a se estender em altura, mas a queda de pressão permanece constante; de fato, com referência à equação 1.2.4, o aumento de h é compensado por um decréscimo de ϵ .

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

É possível alcançar altas velocidades superficiais sem que as partículas sejam carregadas pelo fluido na saída. Isto porque as velocidades de decantação das partículas são tipicamente muito maiores do que as maiores velocidades superficiais usadas.

Agora, se traçarmos nossa trajetória ao contrário, gradualmente reduzindo a velocidade superficial, encontraremos que o comportamento do leito segue as flechas ao contrário na figura.

Um leito de partículas não ativado por um período de tempo suficiente torna-se consolidado, mas se afrouxa quando se fluidiza. Depois da fluidização, o leito assume novamente uma forma compacta mais leve; isso ocorre porque a altura constante do leito na malha de retorno é maior do que a altura do leito no estado inicial. Esse efeito é denominado "efeito de histerese".

Se agora repetirmos o experimento aumentando a velocidade superficial a partir do zero, seguiremos a curva inferior em ambas as direções.

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

2. O EQUIPAMENTO PARA ESTUDO DE LEITOS FIXOS E FLUIDIZADOS

2.1 Descrição

O equipamento contém dois cilindros verticais de Plexiglass, usados como unidades experimentais com um leito de material granular. O ar flui através de um dos cilindros, e água flui pelo outro.

Na extremidade inferior dos cilindros há uma câmara de distribuição e um distribuidor de placa de aço inoxidável sinterizado que sustenta o leito. Este sistema assegura um fluxo uniforme de fluido no leito sem provocar uma queda de pressão excessiva. Ao deixar o leito, o ar e a água passam através de uma placa de aço inoxidável sinterizado; em seguida, o ar escapa para a atmosfera, e a água cai no tanque D1.

Um compressor de ar com reservatório de pressão é acoplado à unidade, para o abastecimento de ar; uma bomba centrífuga proporciona a vazão de água. As vazões podem ser medidas com dois rotâmetros de área variável. Dois manômetros de pressão diferencial são usados para medir a queda de pressão ao longo dos leitos fluidizados. Se a pressão na câmara de distribuição de ar subir 0,5 bar acima da pressão atmosférica, uma válvula de segurança descarregará ar na atmosfera.

As possíveis causas de pressão excessiva na câmara de distribuição são:

- uso de um leito de partículas densas, finas ou fortemente coesivas
- a placa superior de aço sinterizado está bloqueada por partículas arrastadas

Além do material fornecido, qualquer material granular seco e de fluxo livre, de densidade e tamanho apropriados, pode ser introduzido nas câmaras, criando muitas demonstrações interessantes.

2.2 Características técnicas

- Estrutura de aço inoxidável AISI 304
- 2 tubos de medida, códigos C1 e C2, altura = 550 mm, diâmetro interno = 44 mm, material = acrílico transparente, escala 0 a 500 mm, com placas de aço inoxidável sinterizado
- Compressor de diafragma duplo, código P1, $Q_{max} = 39$ L/min, $P_{max} = 2,0$ bar, com reservatório de armazenamento de ar comprimido, código D2
- Tanque para água, código D1, de aço inoxidável AISI 304, capacidade 6 litros
- Bomba de auto-escorvamento, código G1, de aço inoxidável AISI 316, $Q_{max} = 1600$ L/h, $H_{max} = 2,4$ bar
- Rotâmetro de área variável para água, com válvula de controle, código F11, em aço inoxidável e vidro, faixa de 7 a 70 L/h
- Rotâmetro de área variável para ar, com válvula de controle, código F12, em aço inoxidável e vidro, faixa de 60 a 1600 NL/h
- Manômetro de tubo duplo para água, código Pdl1, faixa de 0 a 500 mmH₂O
- Manômetro de tubo em U para ar, código Pdl2, faixa de 0 a 300 mmH₂O
- Válvula de segurança, código PSV1, pressão de descarga = 0,5 bar
- Material do leito: esferas de vidro na faixa de 400 a 600 μ m, esferas de vidro na faixa de 400 a 500 μ m e esferas de vidro na faixa de 500 a 800 μ m

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

3. INSTRUÇÕES DE OPERAÇÃO

3.1 Teste usando ar como fluido

- Conecte a unidade à rede elétrica: monofásico + G **dotado de um disjuntor ELCB de 30 mA**
- Se necessário, encha o manômetro de tubo em U com água destilada
- Abra completamente a válvula de bypass de ar
- Feche completamente a válvula do rotâmetro de ar FI2
- Ligue o compressor P1
- Aumente lentamente a vazão de ar, com pequenos incrementos
- Anote a queda de pressão e a altura do leito para cada incremento da vazão
- Verifique quando as partículas começam a se mover. Anote o valor da vazão e calcule u_{mf}
- Continue as medidas até 1500 l/h
- Note: para altas vazões, é necessário fechar a válvula de bypass de ar
- Ao final do experimento, abra a válvula de bypass, desligue o compressor P1 e feche a válvula do rotâmetro de ar FI2

3.2 Teste usando água como fluido

- Conecte a unidade à rede elétrica: monofásico + G dotado de um disjuntor ELCB de 30 mA
- Encha o tanque de água, D1, com água destilada (cerca de 5 litros)
- Abra parcialmente a válvula do rotâmetro de água FI1
- Ligue a bomba G1
- Quando a água fluir para fora da coluna C1, feche a válvula do rotâmetro de água FI1 e desligue a bomba G1. Se o ΔP no manômetro for zero, prossiga com o experimento; caso contrário, há bolhas de ar no manômetro de tubos/coluna C1. Nesse caso, ligue a bomba G1, abra a válvula no rotâmetro e remova as bolhas, abrindo as válvulas de purga no manômetro
- Quando o manômetro estiver pronto, ligue a bomba G1 e aumente a vazão de água lentamente, e com pequenos incrementos
- Anote a queda de pressão e a altura do leito para cada incremento da vazão.
- Verifique quando as partículas começam a se mover. Anote o valor da vazão e calcule u_{mf}
- Continue as medidas até 100 l/h
- Ao final do experimento, feche a válvula do rotâmetro de água FI1 e desligue a bomba G1

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

3.3 Troca de material do leito

O material do leito pode ser trocado com as seguintes operações:

- Desconecte os tubos da coluna (fig. 3.1 e 3.2)



Fig. 3.1



Fig. 3.2

- desaperte as porcas de fixação da coluna (fig. 3.3 e 3.4)



Fig. 3.3

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

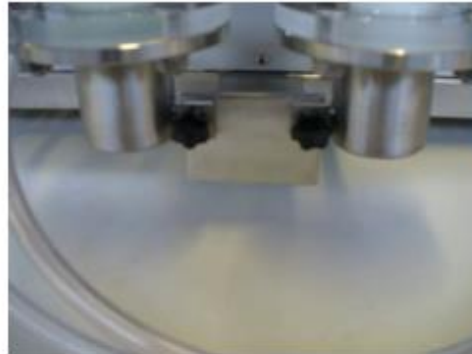


Fig. 3.4

- remova a coluna do suporte
- desaperte as quatro porcas do flange superior
- retire o material do leito
- despejar outro material para o leito no cilindro
- remonte os componentes na ordem inversa

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

4. EXPERIMENTOS

Os experimentos são relativos a leitos com microesferas de vidro de 400 a 600 μm ; em alguns casos, a unidade pode ser alimentada com esferas de vidro de diferentes granulometrias (por ex. 400 – 500 μm , 500-800 μm , etc.), mas adequadas aos experimentos.

4.1 Determinação da porosidade do leito

- Pese uma pequena amostra dos materiais (W_b)
- Coloque a amostra em um cilindro graduado seco
- Meça o volume seco da amostra (V_b)
- A densidade do leito (densidade aparente) é:

$$\rho_b = \frac{W_b}{V_b}$$

- A fração de vazio ϵ é:

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p}$$

onde ρ_p é a densidade da partícula.

Amostra	Microesferas de vidro de 400 a 600 μm , $\rho_p = 2,5 \text{ g/ml}$
W_b	105,13 g
V_b	70 ml
ρ_b	$105,13/70 = 1,5 \text{ g/ml}$
ϵ	$1 - 1,5/2,5 = 0,4$

Amostra	Microesferas de vidro de 250 a 300 μm , $\rho_p = 2,5 \text{ g/ml}$
W_b	30 g
V_b	20 ml
ρ_b	$30/20 = 1,5 \text{ g/ml}$
ϵ	$1 - 1,5/2,5 = 0,4$

4.2 Fluidização com água

A velocidade mínima de fluidização u_{mf} pode ser encontrada traçando o gráfico da queda de pressão ao longo do leito vs. a velocidade superficial u - ela corresponde ao ponto do gráfico onde a linha muda drasticamente sua inclinação e começa a se tornar horizontal.

A velocidade superficial pode ser calculada a partir da vazão e da área da seção transversal da câmara do leito ($A = 1,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$).

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

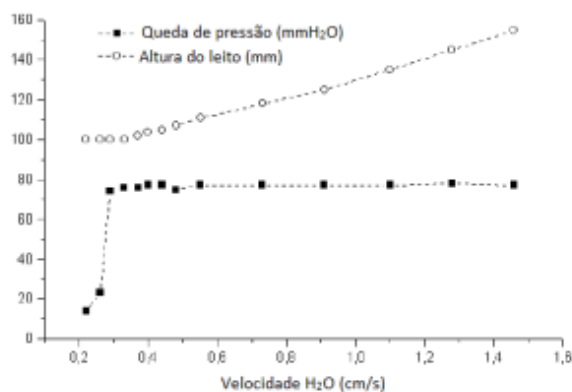
DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

A estimativa da velocidade mínima de fluidização fornece uma boa indicação de quando usar pequenos incrementos.

Amostra	Microesferas de vidro de 400 a 600 μm , $\rho_p = 2,5 \text{ g/ml}$
ρ_p	1,5 g/ml
ϵ	0,4

Q (l/h)	u (cm/s)	dP (mmWC)	H (mm)	Observações
12	0,22	14	100	
14	0,26	23	100	
16	0,29	74	100	Primeiro movimento de partículas
18	0,33	76	100	Fluidização
20	0,37	76	102	
22	0,40	77	104	
24	0,44	77	105	
26	0,48	75	107	
30	0,55	77	111	
40	0,73	77	118	
50	0,91	77	125	
60	1,10	77	135	
70	1,28	78	145	
80	1,46	77	155	



ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

Cálculo do ΔP teórico

Densidade da água = 1000 kg/m³

$$\Delta P = g (1 - \epsilon)(\rho_p - \rho_f) \cdot h$$

$$\Delta P = 9,8 \cdot (1 - 0,4) \cdot (2500 - 1000) \cdot 0,1 = 882 \text{ Pa} = 88,2 \text{ mmH}_2\text{O}$$

O valor teórico está em bom acordo com o valor experimental,

$$\Delta P_{exp} = 80 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Cálculo do u_{mf} teórico

$$(\rho_s - \rho_f)g = 150 \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \frac{\mu}{D_p^2} u_{mf} + 1,75 \frac{\rho_f}{D_p} \frac{1}{\epsilon^3} u_{mf}^2$$

$$(2,5 - 1) \cdot 980 = 150 \frac{1-0,4}{0,4^3} \cdot \frac{0,01}{0,05^2} u_{mf} + 1,75 \frac{1}{0,05} \frac{1}{0,4^3} u_{mf}^2$$

Para D_p usamos o diâmetro médio das partículas, 500 μm .

Resolvendo para valores positivos da velocidade, obtemos:

$$u_{mf} = 0,26 \text{ cm/s, correspondente a uma vazão de água } Q_{mf} = 14 \text{ l/h}$$

O valor teórico está em bom acordo com o experimental.

4.3 Fluidização com ar

A velocidade mínima de fluidização u_{mf} pode ser encontrada traçando o gráfico da queda de pressão ao longo do leito vs. a velocidade superficial u - ela corresponde ao ponto do gráfico onde a linha muda drasticamente sua inclinação e começa a se tornar horizontal.

A velocidade superficial pode ser calculada a partir da vazão e da área da seção transversal da câmara do leito ($A = 1,52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$).

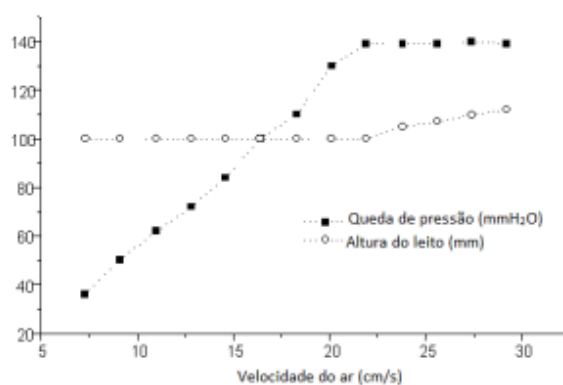
A estimativa da velocidade mínima de fluidização fornece uma boa indicação de quando usar pequenos incrementos.

Amostra	Microesferas de vidro de 400 a 600 μm , $\rho_p = 2,5 \text{ g/ml}$
ρ_p	1,5 g/ml
ϵ	0,4

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECHAparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

Q (l/h)	u (cm/s)	dP (mmWC)	H (mm)	Observações
400	7,3	36	100	
500	9,1	50	100	
600	11,0	62	100	
700	12,8	72	100	
800	14,6	84	100	
900	16,4	100	100	
1000	18,3	110	100	Primeiro movimento de partículas
1100	20,1	130	100	
1200	21,9	139	100	Fluidização
1300	23,8	139	105	Borbulhamento
1400	25,6	139	107	
1500	27,4	140	110	
1600	29,2	139	112	

**Cálculo do ΔP teórico**Densidade do ar = $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$

$$\Delta P = g (1 - \epsilon)(\rho_p - \rho_f) \cdot h$$

$$\Delta P = 9,8 \cdot (1 - 0,4) \cdot (2500 - 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,1 = 1470 \text{ Pa} = 147 \text{ mmH}_2\text{O}$$

O valor teórico está em bom acordo com o valor experimental, $\Delta P_{\text{exp}} = 139 \text{ mmH}_2\text{O}$

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

Cálculo do u_{mf} teórico

$$(\rho_s - \rho_f)g = 150 \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \frac{\mu}{D_p^2} u_{mf} + 1,75 \frac{\rho_f}{D_p} \frac{1}{\epsilon^3} u_{mf}^2$$

$$(2,5 - 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot 980 = 150 \frac{1-0,4}{0,4^3} \cdot \frac{16 \cdot 10^{-5}}{0,05^2} u_{mf} + 1,75 \frac{1,25 \cdot 10^{-3}}{0,05} \frac{1}{0,4^3} u_{mf}^2$$

Para D_p usamos o diâmetro médio das partículas, 500 μm .

Resolvendo para valores positivos da velocidade, obtemos:

$$u_{mf} = 23,16 \text{ cm/s, correspondente a uma vazão de água } Q_{mf} = 1267 \text{ l/h}$$

O valor teórico está em bom acordo com o experimental.

Data:				
Operador:				
Coluna: C1 <input type="checkbox"/> C2 <input type="checkbox"/>				
Q (l/h)	u (cm/s)	dP (mmWC)	H (mm)	Observações
Assinatura:				

ANEXO 1 – Manual aparato para estudo de leitos fixos e fluidizados Didatech.

DIDATECH

Aparato para Estudo de Leitos Fixos e Fluidizados – FFB/EV
Manual do Professor/Estudante

5. SEGURANÇA

- A unidade deve ser conectada a uma linha de alimentação elétrica dotada de um disjuntor ELCB de 30 mA
- Toda operação de manutenção na bomba centrífuga e no compressor deve ser executada por técnicos autorizados e qualificados.

ANEXOS

ANEXO 2 – Tabela com densidade, viscosidade dinâmica e cinética em função da temperatura.

TABLE 10-1 Density, Viscosity, and Kinematic Viscosity of Water and Air in Terms of Temperature

Temperature		Water			Air at a pressure of 760 mm Hg (14.696 lb/in ²)		
		Density ρ (lb ³ sec ² /ft ⁴)	Viscosity $\mu \times 10^5$ (lb ³ sec/ft ²)	Kinematic viscosity $\nu \times 10^6$ (ft ² /sec)	Density ρ (lb ³ sec ² /ft ⁴)	Viscosity $\mu \times 10^6$ (lb ³ sec/ft ²)	Kinematic viscosity $\nu \times 10^6$ (ft ² /sec)
(°C)	(°F)						
-20	-4	—	—	—	0.00270	0.326	122
-10	14	—	—	—	0.00261	0.338	130
0	32	1.939	37.5	19.4	0.00251	0.350	140
10	50	1.939	27.2	14.0	0.00242	0.362	150
20	68	1.935	21.1	10.9	0.00234	0.375	160
40	104	1.924	13.68	7.11	0.00217	0.399	183
60	140	1.907	9.89	5.19	0.00205	0.424	207
80	176	1.886	7.45	3.96	0.00192	0.449	234
100	212	1.861	5.92	3.19	0.00183	0.477	264

Conversion factors: 1 kp sec²/m⁴ = 0.01903 lbf sec²/ft⁴ (= slug/ft³)
 1 lbf sec²/ft⁴ = 32.1719 lb/ft³ (lb = lb mass; lbf = lb force)
 1 kp sec²/m⁴ = 9.80665 kg/m³ (kg = kg mass; kp = kg force)
 1 kg/m³ = 16.02 lb/ft³

Fonte: Perry e Green (2008).

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos na prática 1, leito 1

LEITO: 1		FLUIDIZAÇÃO EM ÁGUA (C1)	
PRÁTICA: 1			
VAZÃO (F11)	QUEDA DE PRESSÃO (dP11)	ALTURA DO LEITO (C1)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	-
0	44,8	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
7	49,1	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
8	49,6	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
9	49,9	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
10	50,5	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
11	51	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
12	51,6	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
13	52	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR
14	52,3	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
15	52,6	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
16	52,9	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 13,0
17	53,5	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 12,6
18	54	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,7
19	54,5	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,5
20	55	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,4
21	55,2	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,3
22	55,3	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 10,5
23	55,5	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 10,4
24	55,5	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 10,2
25	55,5	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 10,0
26	55,5	13,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
27	55,5	13,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
28	55,5	13,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
29	55,6	13,6	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
30	55,7	13,6	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
31	55,7	13,65	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
32	55,7	13,7	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
33	55,7	13,7	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
34	55,7	13,7	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
35	55,7	13,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
36	55,7	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
37	55,7	14	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
38	55,7	14,1	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
39	55,7	14,3	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
40	55,7	14,4	FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
41	55,7	14,5	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,5
42	55,7	14,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,3
43	55,8	14,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,1
44	56	14,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,0
45	56,5	14,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 12,7
46	56,5	14,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 12,5
47	56,5	14,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 12,5
48	56,4	15	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 12,3
49	56,4	15,3	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 12,0
50	56,4	15,3	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,7
51	56,4	15,4	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,6
52	56,4	15,4	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,3
53	56,4	15,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,9
54	56,4	15,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
55	56,4	15,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
56	56,4	15,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
57	56,4	15,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
58	56,4	16	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
59	56,4	16,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
60	56,4	16,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
61	56,4	16,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
62	56,5	16,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
63	56,5	16,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
64	56,5	16,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
65	56,6	16,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
66	56,6	16,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
67	56,6	16,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
68	56,6	16,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
69	56,6	16,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
70	56,6	17	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos na prática 2, leito 1

LEITO: 1		FLUIDIZAÇÃO EM ÁGUA (C1)	
PRÁTICA: 2			
VAZÃO (F1)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI1)	ALTURA DO LEITO (C1)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	27	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
7	31,2	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
8	31,7	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
9	32,1	13,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
10	32,6	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR (TOPO LEITO)
11	33,1	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR (TOPO LEITO)
12	33,5	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR (TOPO LEITO)
13	34,1	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR (TOPO LEITO)
14	34,5	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 13,0
15	35,2	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 12,6
16	35,6	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,8
17	36,2	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,6
18	36,7	13,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,3
19	37,3	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,2
20	37,7	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,1
21	37,5	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,0
22	37,5	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,9
23	37,5	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,7
24	37,5	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,5
25	37,5	13,7	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,4
26	37,8	13,7	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,2
27	37,9	13,7	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
28	38	13,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
29	38,1	13,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
30	38,2	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
31	38,4	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
32	38,4	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
33	38,5	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
34	38,7	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
35	38,8	14	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
36	38,9	14	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
37	39	14,1	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
38	39	14,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
39	39,1	14,3	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
40	39,2	14,5	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
41	39,4	14,6	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
42	39,5	14,7	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
43	39,6	14,8	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
44	39,7	14,9	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
45	39,7	15	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,5
46	39,8	15,1	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,5
47	39,9	15,2	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,4
48	39,9	15,3	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,3
49	39,9	15,4	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,2
50	40	15,5	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,1
51	40	15,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
52	40	15,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
53	40,1	15,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
54	40,1	15,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
55	40,2	15,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
56	40,3	16	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
57	40,3	16,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
58	40,3	16,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
59	40,3	16,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
60	40,4	16,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
61	40,5	16,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
62	40,5	16,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
63	40,5	16,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
64	40,5	16,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
65	40,6	16,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
66	40,6	16,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
67	40,7	17	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
68	40,7	17	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
69	40,7	17,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
70	40,8	17,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos na prática 3, leito 1

LEITO: 1		FLUIDIZAÇÃO EM ÁGUA (C1)	
PRÁTICA: 3			
VAZÃO (F1)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI1)	ALTURA DO LEITO (C1)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	25,2	13,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
7	29,7	13,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
8	30,4	13,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
9	30,7	13,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
10	31	13,3	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR (TOPO LEITO)
11	31,7	13,3	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR (TOPO LEITO)
12	32,2	13,3	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR (TOPO LEITO)
13	32,7	13,3	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR (TOPO LEITO)
14	33,1	13,3	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 13,0
15	33,6	13,3	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 12,8
16	34,3	13,3	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 12,6
17	34,7	13,3	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,8
18	35,3	13,3	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,6
19	36,1	13,3	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,3
20	36,8	13,3	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,1
21	36,6	13,3	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,9
22	36,6	13,3	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,8
23	36,7	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,7
24	36,8	13,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,5
25	36,9	13,5	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,4
26	37	13,6	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,3
27	37,1	13,7	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
28	37,1	13,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
29	37,2	13,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
30	37,3	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
31	37,7	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
32	37,8	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
33	37,9	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
34	38	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
35	38,2	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
36	38,3	13,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
37	38,4	14	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
38	38,5	14,1	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
39	38,6	14,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
40	38,7	14,25	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
41	38,8	14,3	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
42	38,8	14,4	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
43	38,9	14,5	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
44	38,9	14,6	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
45	39	14,8	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,4
46	39	14,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,4
47	39,2	15	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,3
48	39,2	15,1	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,3
49	39,3	15,2	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,2
50	39,4	15,35	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 13,2
51	39,4	15,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
52	39,5	15,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
53	39,5	15,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
54	39,6	15,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
55	39,7	15,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
56	39,7	16	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
57	39,8	16,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
58	39,8	16,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
59	39,9	16,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
60	39,9	16,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
61	40	16,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
62	40	16,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
63	40,1	16,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
64	40,1	16,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
65	40,2	16,75	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
66	40,2	16,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
67	40,3	16,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
68	40,3	17	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
69	40,4	17	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
70	40,4	17,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos na prática 1, leito 3

LEITO: 3		FLUIDIZAÇÃO EM ÁGUA (C1)	
PRÁTICA: 1			
VAZÃO (F1)	QUEDA DE PRESSÃO (dP1)	ALTURA DO LEITO (C1)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	14,6	11,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
7	17,5	11,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
8	17,9	11,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
9	18,2	11,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
10	18,5	11,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
11	19,0	11,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
12	19,3	11,4	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
13	19,7	11,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR
14	20,0	11,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
15	20,5	11,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
16	20,9	11,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 11,0
17	21,2	11,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,7
18	21,6	11,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,4
19	22,1	11,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,0
20	22,4	11,4	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 9,7
21	22,3	11,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 9,5
22	22,3	11,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 9,3
23	22,4	11,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 9,0
24	22,4	11,4	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 8,8
25	22,4	11,6	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 8,6
26	22,5	11,7	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
27	22,7	11,7	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
28	22,7	11,7	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
29	22,7	11,7	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
30	22,8	11,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
31	23,0	11,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
32	23,1	11,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
33	23,1	11,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
34	23,3	11,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
35	23,4	11,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
36	23,4	11,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
37	23,6	12,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
38	23,6	12,1	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
39	23,6	12,2	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
40	23,8	12,2	FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
41	23,9	12,3	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 12,0
42	23,9	12,4	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,8
43	23,9	12,5	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,6
44	24,1	12,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,4
45	24,1	12,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,2
46	24,1	12,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,0
47	24,2	12,8	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,9
48	24,2	12,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,7
49	24,2	13,0	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,4
50	24,4	13,1	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,2
51	24,4	13,1	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,0
52	24,4	13,2	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,9
53	24,4	13,3	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,5
54	24,4	13,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
55	24,5	13,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
56	24,5	13,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
57	24,5	13,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
58	24,5	13,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
59	24,7	13,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
60	24,7	13,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
61	24,7	13,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
62	24,7	14,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
63	24,9	14,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
64	24,9	14,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
65	24,9	14,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
66	24,9	14,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
67	25,0	14,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
68	25,0	14,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
69	25,0	14,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
70	25,0	14,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos na prática 2, leito 3

LEITO: 3		FLUIDIZAÇÃO EM ÁGUA (C1)	
PRÁTICA: 2			
VAZÃO (F1)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI1)	ALTURA DO LEITO (C1)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	15,0	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
7	18,4	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
8	18,7	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
9	19,0	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
10	19,5	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
11	19,9	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
12	20,3	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
13	20,8	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR
14	21,1	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
15	21,7	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
16	22,0	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,5
17	22,5	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,3
18	22,9	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,0
19	23,4	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 9,9
20	23,7	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 9,7
21	23,6	10,9	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 9,5
22	23,6	10,9	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS, ALTURA 9,4
23	23,6	10,9	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS, ALTURA 9,2
24	23,6	10,9	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS, ALTURA 8,9
25	23,6	11,2	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS, ALTURA 8,6
26	23,8	11,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
27	23,9	11,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
28	24,0	11,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
29	24,0	11,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
30	24,1	11,3	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
31	24,3	11,3	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
32	24,3	11,3	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
33	24,4	11,3	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
34	24,5	11,3	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
35	24,6	11,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
36	24,7	11,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
37	24,8	11,5	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
38	24,8	11,6	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
39	24,9	11,6	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
40	25,0	11,8	FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
41	25,1	11,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,5
42	25,2	12,0	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,3
43	25,3	12,1	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,0
44	25,4	12,1	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,8
45	25,4	12,2	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,7
46	25,5	12,3	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,5
47	25,5	12,4	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,3
48	25,5	12,5	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,0
49	25,5	12,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,7
50	25,6	12,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,5
51	25,6	12,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,3
52	25,6	12,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,0
53	25,7	12,8	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,7
54	25,7	12,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
55	25,8	13,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
56	25,8	13,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
57	25,8	13,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
58	25,8	13,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
59	25,8	13,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
60	25,9	13,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
61	26,0	13,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
62	26,0	13,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
63	26,0	13,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
64	26,0	13,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
65	26,1	13,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
66	26,1	13,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
67	26,2	13,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
68	26,2	13,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
69	26,2	14,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
70	26,2	14,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos na prática 3, leito 3

LEITO: 3		FLUIDIZAÇÃO EM ÁGUA (C1)	
PRÁTICA: 3			
VAZÃO (F1)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI1)	ALTURA DO LEITO (C1)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	14,0	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
7	18,1	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
8	18,7	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
9	18,9	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
10	19,2	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
11	19,8	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
12	20,2	10,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
13	20,7	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR
14	21,0	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
15	21,4	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
16	22,0	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,5
17	22,4	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,4
18	22,9	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 10,2
19	23,5	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 9,9
20	24,1	10,9	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 9,8
21	24,0	10,9	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 9,5
22	24,0	10,9	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 9,4
23	24,0	11,0	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 9,1
24	24,1	11,0	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 8,8
25	24,2	11,1	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 8,5
26	24,3	11,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
27	24,4	11,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
28	24,4	11,3	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
29	24,5	11,3	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
30	24,5	11,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
31	24,9	11,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
32	25,0	11,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
33	25,0	11,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
34	25,1	11,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
35	25,3	11,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
36	25,4	11,4	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
37	25,5	11,5	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
38	25,5	11,6	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
39	25,6	11,6	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
40	25,7	11,7	FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
41	25,8	11,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,3
42	25,8	11,8	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 11,0
43	25,9	11,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,8
44	25,9	12,0	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,5
45	25,9	12,1	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,3
46	25,9	12,2	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 10,1
47	26,1	12,3	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,9
48	26,1	12,4	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,7
49	26,2	12,5	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,5
50	26,3	12,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,3
51	26,3	12,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 9,0
52	26,3	12,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,9
53	26,3	12,8	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,6
54	26,4	12,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
55	26,5	13,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
56	26,5	13,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
57	26,6	13,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
58	26,6	13,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
59	26,7	13,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
60	26,7	13,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
61	26,7	13,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
62	26,7	13,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
63	26,8	13,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
64	26,8	13,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
65	26,9	13,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
66	26,9	13,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
67	27,0	13,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
68	27,0	14,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
69	27,0	14,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
70	27,0	14,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos na prática 1, leito 5

LEITO: 5		FLUIDIZAÇÃO EM ÁGUA (C1)	
PRÁTICA: 1			
VAZÃO (F1)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI1)	ALTURA DO LEITO (C1)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	8,7	8,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
7	10,8	8,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
8	11,2	8,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
9	11,4	8,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
10	11,6	8,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
11	12,0	8,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
12	12,2	8,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
13	12,5	8,8	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR
14	12,8	8,8	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
15	13,1	8,8	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
16	13,4	8,8	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,4
17	13,7	8,8	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,4
18	14,0	8,8	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,3
19	14,5	8,8	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,2
20	14,7	8,8	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,0
21	14,6	8,8	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 7,9
22	14,6	8,8	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,9
23	14,7	8,8	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,8
24	14,7	8,8	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,7
25	14,7	8,9	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,6
26	14,8	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
27	14,9	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
28	14,9	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
29	14,9	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
30	15,1	9,1	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
31	15,2	9,1	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
32	15,3	9,1	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
33	15,3	9,1	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
34	15,4	9,1	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
35	15,5	9,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
36	15,5	9,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
37	15,7	9,2	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
38	15,7	9,3	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
39	15,7	9,3	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
40	15,8	9,4	FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
41	15,9	9,5	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,5
42	15,9	9,5	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,3
43	15,9	9,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,1
44	16,0	9,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,0
45	16,0	9,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,9
46	16,0	9,8	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,8
47	16,1	9,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,8
48	16,1	9,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,7
49	16,1	10,0	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,6
50	16,2	10,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
51	16,2	10,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
52	16,2	10,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
53	16,2	10,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
54	16,2	10,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
55	16,4	10,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
56	16,4	10,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
57	16,4	10,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
58	16,4	10,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
59	16,5	10,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
60	16,5	10,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
61	16,5	10,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
62	16,5	10,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
63	16,6	10,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
64	16,6	10,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
65	16,6	11,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
66	16,6	11,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
67	16,7	11,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
68	16,7	11,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
69	16,7	11,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
70	16,7	11,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos na prática 2, leito 5

LEITO: 5		FLUIDIZAÇÃO EM ÁGUA (C1)	
PRÁTICA: 2			
VAZÃO (F1)	QUEDA DE PRESSÃO (dP1)	ALTURA DO LEITO (C1)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	9,0	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
7	11,5	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
8	11,8	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
9	12,1	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
10	12,4	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
11	12,7	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
12	13,0	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
13	13,4	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR
14	13,7	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
15	14,1	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
16	14,4	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,3
17	14,8	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,2
18	15,1	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,2
19	15,5	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,1
20	15,8	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,0
21	15,6	8,6	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 7,9
22	15,6	8,6	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,9
23	15,6	8,6	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,8
24	15,6	8,6	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,7
25	15,6	8,8	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,6
26	15,8	8,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
27	15,9	8,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
28	16,0	8,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
29	16,0	8,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
30	16,1	8,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
31	16,2	8,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
32	16,2	8,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
33	16,3	8,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
34	16,4	8,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
35	16,5	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
36	16,5	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
37	16,6	9,1	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
38	16,6	9,1	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
39	16,7	9,2	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
40	16,7	9,3	FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
41	16,9	9,4	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,4
42	16,9	9,5	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,3
43	17,0	9,5	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,1
44	17,0	9,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,0
45	17,0	9,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,0
46	17,1	9,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,9
47	17,2	9,8	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,8
48	17,2	9,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,7
49	17,2	9,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,6
50	17,2	10,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
51	17,2	10,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
52	17,2	10,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
53	17,3	10,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
54	17,3	10,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
55	17,3	10,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
56	17,4	10,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
57	17,4	10,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
58	17,4	10,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
59	17,4	10,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
60	17,4	10,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
61	17,5	10,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
62	17,5	10,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
63	17,5	10,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
64	17,5	10,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
65	17,6	10,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
66	17,6	10,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
67	17,6	11,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
68	17,6	11,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
69	17,6	11,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
70	17,7	11,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos na prática 3, leito 5

LEITO: 5		FLUIDIZAÇÃO EM ÁGUA (C1)	
PRÁTICA: 3			
VAZÃO (F1)	QUEDA DE PRESSÃO (dP1)	ALTURA DO LEITO (C1)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	8,4	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
7	10,7	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
8	11,0	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
9	11,2	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
10	11,4	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
11	11,8	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
12	12,1	8,6	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
13	12,4	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS PRÓXIMAS À PAREDE DO REATOR
14	12,6	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
15	12,9	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE POUCAS PARTÍCULAS EM DIREÇÃO RADIAL
16	13,4	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,4
17	13,6	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,3
18	14,0	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,3
19	14,5	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,2
20	14,9	8,6	PEQUENAS AGITAÇÕES DE PARTÍCULAS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,1
21	14,8	8,6	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS EM TODA SUPERFÍCIE, ALTURA 8,0
22	14,8	8,6	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,9
23	14,9	8,7	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,7
24	14,9	8,7	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,5
25	15,0	8,8	AGITAÇÕES BEM PERCEPTÍVEIS , ALTURA 7,3
26	15,0	8,8	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
27	15,1	8,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
28	15,1	8,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
29	15,2	8,9	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
30	15,2	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
31	15,5	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
32	15,5	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
33	15,6	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
34	15,6	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
35	15,8	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
36	15,8	9,0	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
37	15,9	9,1	AGITAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
38	15,9	9,1	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
39	16,0	9,2	INICIO DE FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
40	16,1	9,2	FLUXO BORBULHANTE NO TOPO DO LEITO
41	16,1	9,3	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,4
42	16,1	9,3	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,3
43	16,2	9,4	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,1
44	16,2	9,5	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,1
45	16,2	9,6	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 8,0
46	16,2	9,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,9
47	16,3	9,7	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,8
48	16,3	9,8	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,7
49	16,4	9,9	FLUXO BORBULHANTE A PARTIR DA ALTURA 7,5
50	16,5	10,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
51	16,5	10,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
52	16,5	10,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
53	16,5	10,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
54	16,6	10,2	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
55	16,6	10,3	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
56	16,6	10,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
57	16,7	10,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
58	16,7	10,4	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
59	16,8	10,5	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
60	16,8	10,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
61	16,8	10,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
62	16,8	10,6	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
63	16,9	10,7	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
64	16,9	10,8	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
65	16,9	10,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
66	16,9	10,9	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
67	17,0	11,0	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
68	17,0	11,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
69	17,1	11,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
70	17,1	11,1	FLUXO TURBULENTO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 1, leito 2

LEITO: 2		FLUIDIZAÇÃO EM AR (C2)	
PRÁTICA: 1			
VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	36	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
160	40	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
180	44	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
200	48	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
220	52	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
240	56	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
260	64	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
280	72	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
300	80	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
320	84	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
340	92	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
360	96	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
380	104	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
400	112	12,7	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
420	116	12,7	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
440	120	12,7	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
460	128	12,7	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
480	132	12,7	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
500	140	12,7	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
520	148	12,7	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
540	152	12,7	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
560	160	12,7	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
580	164	12,7	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
600	172	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 12,4
620	180	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 12,0
640	184	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 11,8
660	192	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 11,5
680	200	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 11,0
700	208	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 10,7
720	220	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 10,3
740	232	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,7
760	244	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,0
780	260	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,6
800	272	12,5	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,4
820	284	12,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,2
840	304	12,2	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,8
860	324	12,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
880	332	12,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
900	332	12,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
920	336	12,3	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
940	336	12,3	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
960	336	12,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
980	336	12,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1000	340	12,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXCESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1020	340	12,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXCESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1040	340	12,5	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXCESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1060	344	12,6	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXCESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1080	344	12,6	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXCESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1100	344	12,7	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXCESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1120	344	12,7	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXCESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1140	344	12,8	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXCESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1160	344	13	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 11,5
1180	344	13	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 11,0
1200	344	13	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 10,5
1220	344	13	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 10,0
1240	348	13,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,0
1260	348	13,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,6
1280	348	13,2	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,6
1300	348	13,2	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,3
1320	348	13,3	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,0
1340	352	13,3	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,5
1360	352	13,4	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,0
1380	352	13,4	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,3
1400	352	13,5	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,0

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 1, leito 2

VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmHg	cm	
1420	352	13,5	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1440	352	13,6	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1460	352	13,7	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1480	352	13,9	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1500	352	14	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1520	352	14,1	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1540	352	14,1	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1560	352	14,3	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1580	352	14,5	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1600	352	14,5	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 2, leito 2

LEITO: 2		FLUIDIZAÇÃO EM AR (C2)	
PRÁTICA: 2			
VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	36	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
160	40	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
180	48	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
200	52	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
220	56	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
240	60	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
260	64	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
280	72	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
300	76	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
320	84	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
340	92	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
360	96	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
380	104	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
400	112	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
420	116	12,9	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
440	120	12,9	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
460	128	12,9	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
480	132	12,9	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
500	140	12,9	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
520	148	12,9	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 12,5
540	156	12,8	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 12,2
560	160	12,8	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 12,0
580	168	12,8	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 11,7
600	176	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 11,3
620	180	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 11,1
640	184	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 10,8
660	192	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 10,2
680	196	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,9
700	204	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,6
720	212	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,1
740	220	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,7
760	224	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,4
780	236	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,8
800	240	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,2
820	252	12,6	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
840	264	12,5	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
860	272	12,4	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
880	280	12,4	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
900	332	12,3	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
920	336	12,3	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
940	336	12,3	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
960	340	12,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
980	340	12,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1000	360	12,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1020	344	12,5	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1040	344	12,5	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1060	344	12,6	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1080	344	12,6	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1100	344	12,7	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1120	344	12,7	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1140	344	12,8	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1160	344	12,8	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1180	344	12,8	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1200	344	12,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 11,5
1220	344	12,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 11,1
1240	348	13	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 10,7
1260	348	13	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 10,3
1280	348	13,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 10,1
1300	348	13,2	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,7
1320	348	13,4	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,3
1340	348	13,5	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,1
1360	348	13,6	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,7
1380	348	13,7	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,4
1400	348	13,8	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,0

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 2, leito 2

VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	-
1420	348	13,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,3
1440	348	14	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,5
1460	352	14,1	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1480	352	14,3	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1500	352	14,6	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1520	352	14,9	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1540	356	15,1	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1560	356	15,3	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1580	356	15,5	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1600	356	15,7	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 3, leito 2

LEITO: 2		FLUIDIZAÇÃO EM AR (C2)	
PRÁTICA: 3			
VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	36	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
160	40	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
180	44	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
200	52	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
220	56	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
240	60	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
260	68	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
280	72	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
300	76	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
320	84	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
340	92	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
360	96	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
380	104	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
400	112	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
420	116	12,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
440	120	12,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
460	128	12,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
480	132	12,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
500	140	12,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
520	144	12,8	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 12,5
540	152	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 12,2
560	160	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 12,0
580	164	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 11,7
600	172	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 11,3
620	180	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 11,1
640	184	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 10,8
660	192	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 10,2
680	196	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,9
700	204	12,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,6
720	220	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,1
740	232	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,7
760	240	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,4
780	248	12,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,8
800	256	12,5	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,2
820	288	12,5	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
840	296	12,5	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
860	304	12,5	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
880	312	12,5	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
900	316	12,5	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
920	320	12,5	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
940	328	12,5	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
960	332	12,5	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
980	336	12,5	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1000	336	12,5	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1020	336	12,5	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1040	336	12,6	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1060	340	12,6	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1080	340	12,6	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1100	344	12,7	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1120	344	12,7	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1140	348	12,7	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1160	348	12,8	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1180	348	12,8	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1200	348	12,8	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 11,5
1220	348	12,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 11,1
1240	348	12,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 10,7
1260	348	13,2	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 10,3
1280	348	13,5	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 10,1
1300	348	14	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,7
1320	348	14,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,3
1340	352	14,2	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,1
1360	352	14,2	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,7
1380	352	14,4	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,4
1400	352	14,5	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,0

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 3, leite 2

VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	-
1420	352	14,7	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,3
1440	352	15	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,5
1460	352	15,2	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1480	352	15,5	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1500	352	15,8	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1520	352	15,9	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1540	352	16	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1560	352	16	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1580	352	16,1	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1600	352	16,2	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 1, leito 4

LEITO: 4		FLUIDIZAÇÃO EM AR (C2)	
PRÁTICA: 1			
VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	20	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
160	28	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
180	32	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
200	36	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
220	40	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
240	44	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
260	48	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
280	52	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
300	56	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
320	60	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
340	64	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
360	68	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
380	72	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
400	76	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
420	84	10,8	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
440	88	10,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
460	96	10,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
480	96	10,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
500	100	10,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
520	108	10,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
540	112	10,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
560	116	10,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
580	120	10,8	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
600	128	10,8	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 10,5
620	132	10,8	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 10,3
640	136	10,7	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 10,0
660	144	10,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,8
680	152	10,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,3
700	156	10,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,3
720	160	10,6	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,0
740	180	10,5	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,4
760	196	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,0
780	204	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,5
800	216	10,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,0
820	228	10,2	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 5,6
840	236	10,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
860	252	10,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
880	260	10,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
900	264	10,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
920	264	10,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
940	268	10,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
960	268	10,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
980	268	10,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1000	272	10,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1020	272	10,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1040	272	10,2	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1060	272	10,2	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1080	276	10,3	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1100	276	10,5	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,8
1120	276	10,7	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,8
1140	276	10,8	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,4
1160	276	10,8	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,4
1180	276	10,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,9
1200	280	11	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,5
1220	280	11,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,4
1240	280	11,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,3
1260	280	11,3	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,2
1280	280	11,4	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,1
1300	280	11,6	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,9
1320	280	11,6	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,4
1340	280	11,7	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,0
1360	280	11,7	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,0
1380	280	11,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,8
1400	280	12,3	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,6

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 1, leito 4

VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	-
1420	280	12,4	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1440	280	13,3	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1460	280	13,5	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1480	280	13,5	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1500	280	13,7	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1520	280	13,7	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1540	280	13,8	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1560	280	13,9	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1580	280	13,9	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1600	280	14,2	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 2, leito 4

LEITO: 4		FLUIDIZAÇÃO EM AR (C2)	
PRÁTICA: 2			
VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	20	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
160	32	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
180	36	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
200	40	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
220	48	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
240	52	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
260	56	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
280	60	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
300	64	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
320	68	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
340	72	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
360	80	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
380	88	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
400	92	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
420	96	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
440	100	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
460	104	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
480	108	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
500	112	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
520	120	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
540	124	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
560	128	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
580	136	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
600	140	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
620	148	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
640	152	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
660	160	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
680	164	10,5	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,4
700	168	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,8
720	184	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,3
740	188	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,9
760	192	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,4
780	200	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,1
800	208	10,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 5,8
820	220	10,3	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
840	228	10,3	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
860	236	10,3	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
880	240	10,3	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
900	248	10,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
920	260	10,2	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
940	260	10,2	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
960	264	10,3	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
980	264	10,3	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1000	268	10,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1020	268	10,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1040	268	10,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1060	268	10,4	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1080	268	10,4	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1100	272	10,4	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1120	272	10,5	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1140	272	10,6	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1160	272	10,7	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1180	272	10,7	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1200	272	10,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,4
1220	276	11,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,3
1240	276	11,3	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,1
1260	276	11,5	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,9
1280	276	11,7	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,7
1300	276	11,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,1
1320	276	11,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,6
1340	276	12	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,1
1360	276	12,2	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,7
1380	276	12,3	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,1
1400	280	12,5	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 5,6

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 2, leito 4

VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	-
1420	280	12,5	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1440	280	12,6	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1460	280	12,7	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1480	280	12,8	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1500	280	13	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1520	280	13,2	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1540	280	13,3	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1560	280	13,4	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1580	280	13,6	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1600	280	13,8	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 3, leito 4

LEITO: 4		FLUIDIZAÇÃO EM AR (C2)	
PRÁTICA: 3			
VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	20	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
160	36	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
180	40	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
200	44	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
220	48	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
240	52	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
260	56	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
280	64	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
300	68	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
320	72	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
340	76	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
360	84	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
380	88	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
400	92	10,5	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
420	96	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
440	100	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
460	104	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
480	112	10,5	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
500	116	10,4	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
520	124	10,4	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
540	128	10,4	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
560	132	10,4	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
580	140	10,4	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
600	144	10,4	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
620	152	10,4	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
640	156	10,4	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
660	160	10,4	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
680	168	10,4	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
700	176	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,7
720	184	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,4
740	192	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 9,0
760	196	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,7
780	204	10,4	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 8,1
800	212	10,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,8
820	228	10,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,4
840	232	10,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,9
860	236	10,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,3
880	244	10,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,0
900	248	10,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
920	252	10,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
940	256	10,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
960	260	10,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
980	264	10,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1000	264	10,3	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1020	268	10,3	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1040	268	10,3	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1060	268	10,3	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1080	268	10,3	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1100	268	10,4	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1120	272	10,5	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1140	272	10,6	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1160	272	10,7	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1180	272	10,8	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1200	272	11	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,5
1220	276	11,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,3
1240	276	11,2	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 9,0
1260	276	11,3	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,7
1280	276	11,4	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,3
1300	276	11,6	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 8,0
1320	276	11,8	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,6
1340	276	11,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,3
1360	276	12	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,0
1380	276	12,2	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,6
1400	276	12,4	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,3

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 3, leito 4

VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	-
1420	276	12,6	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,1
1440	276	12,8	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 5,9
1460	276	13	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1480	276	13,2	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1500	280	13,4	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1520	280	13,6	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1540	280	13,8	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1560	280	14	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1580	280	14,2	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1600	280	14,4	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 1, leito 6

LEITO: 6		FLUIDIZAÇÃO EM AR (C2)	
PRÁTICA: 1			
VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	12	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
160	20	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
180	24	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
200	28	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
220	32	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
240	32	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
260	36	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
280	40	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
300	44	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
320	48	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
340	52	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
360	56	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
380	60	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
400	64	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
420	64	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
440	68	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
460	72	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
480	76	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
500	80	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
520	84	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
540	88	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
560	92	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
580	100	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
600	104	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
620	108	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
640	112	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
660	116	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
680	124	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,9
700	128	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,6
720	132	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,4
740	140	8,2	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,2
760	144	8,2	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,0
780	152	8,2	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,8
800	160	8,1	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,6
820	168	8,1	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,3
840	180	8	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,1
860	184	8	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,0
880	188	8	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 5,8
900	192	8	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
920	192	8	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
940	196	8	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
960	196	8	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
980	196	8	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1000	196	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1020	200	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1040	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1060	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1080	204	8,2	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1100	204	8,2	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1120	204	8,2	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1140	204	8,2	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1160	204	8,3	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1180	204	8,3	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1200	204	8,3	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,5
1220	208	8,6	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,2
1240	208	8,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,1
1260	208	9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,9
1280	208	9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,5
1300	208	9,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,4
1320	208	9,4	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,2
1340	208	9,4	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,0
1360	208	9,5	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 5,8
1380	208	9,6	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 5,6
1400	208	9,7	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 1, leito 6

VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	-
1420	208	9,7	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1440	208	9,8	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1460	208	10	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1480	208	10,2	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1500	208	10,4	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1520	208	10,5	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1540	208	10,7	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1560	208	10,8	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1580	212	11	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1600	212	11,2	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 2, leito 6

LEITO: 6		FLUIDIZAÇÃO EM AR (C2)	
PRÁTICA: 2			
VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	12	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
160	24	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
180	28	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
200	32	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
220	36	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
240	40	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
260	44	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
280	48	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
300	52	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
320	56	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
340	60	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
360	64	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
380	68	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
400	72	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
420	76	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
440	80	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
460	84	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
480	88	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
500	92	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
520	96	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
540	100	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
560	104	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
580	108	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
600	112	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
620	116	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
640	120	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
660	124	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
680	128	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,9
700	132	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,6
720	136	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,1
740	144	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,0
760	148	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,9
780	152	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,7
800	156	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,5
820	160	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,3
840	168	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,2
860	172	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,0
880	176	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 5,9
900	184	8,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
920	192	8,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
940	196	8,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
960	196	8,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
980	196	8,2	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1000	200	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1020	200	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1040	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1060	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1080	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1100	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1120	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1140	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1160	200	8,2	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1180	200	8,4	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1200	200	8,5	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1220	204	8,6	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1240	204	8,7	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1260	204	8,8	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1280	204	8,9	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1300	204	9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,7
1320	208	9,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,4
1340	208	9,3	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,1
1360	208	9,4	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,8
1380	208	9,6	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,3
1400	208	9,8	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,0

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 2, leito 6

VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	-
1420	208	9,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 5,7
1440	208	10	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1460	208	10,1	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1480	208	10,3	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1500	208	10,5	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1520	208	10,6	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1540	208	10,7	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1560	208	10,8	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1580	208	10,9	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1600	208	11	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 3, leito 6

LEITO: 6		FLUIDIZAÇÃO EM AR (C2)	
PRÁTICA: 3			
VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmH ₂ O	cm	
0	12	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
160	20	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
180	24	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
200	28	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
220	32	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
240	36	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
260	40	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
280	44	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
300	48	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
320	52	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
340	56	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
360	60	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
380	64	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
400	68	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
420	72	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
440	72	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
460	76	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
480	80	8,3	LEITO FIXO, SEM VIBRAÇÃO
500	84	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
520	88	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
540	92	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
560	96	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
580	100	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
600	104	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
620	108	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
640	112	8,3	VIBRAÇÕES PERCEPTÍVEIS NA PAREDE DA COLUNA, TOPO DO LEITO
660	116	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,7
680	120	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,5
700	124	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,3
720	132	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,1
740	140	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 7,0
760	144	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,8
780	148	8,3	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,6
800	156	8,2	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,4
820	164	8,2	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,2
840	168	8,2	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 6,0
860	172	8,2	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 5,8
880	176	8,2	VIBRAÇÃO PERCEPTÍVEL NA ALTURA 5,4
900	180	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
920	184	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
940	188	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
960	192	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
980	196	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1000	200	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1020	200	8,1	VIBRAÇÃO DE PARTICULAS EM TODO O LEITO
1040	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1060	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1080	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1100	200	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1120	204	8,1	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1140	204	8,2	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1160	204	8,4	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1180	204	8,5	TUDO LEITO VIBRANDO, FUNDO COM CANAIS DE FLUXO
1200	204	8,6	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1220	204	8,7	MEIO COM CANAIS DE FLUXO EXPESSOS, TODO LEITO COM BOLHAS
1240	204	8,9	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1260	204	9,1	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1280	208	9,3	FUNDO COM CANAIS DE FLUXO, PEQUENAS EBULIÇÕES NO TOPO
1300	208	9,7	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,7
1320	208	9,7	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,5
1340	208	9,8	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,3
1360	208	9,8	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 7,0
1380	208	9,9	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,7
1400	208	10	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,5

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos na prática 3, leito 6

VAZÃO (F12)	QUEDA DE PRESSÃO (dPI2)	ALTURA DO LEITO (C2)	COMPORTAMENTO DO LEITO (topo, meio, fundo)
L/h	mmHgO	cm	-
1420	208	10,1	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,3
1440	208	10,2	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 6,0
1460	208	10,3	TUDO LEITO COM BOLHAS, FLUXO PISTONADO ALTURA 5,8
1480	208	10,4	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1500	208	10,6	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1520	208	10,6	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1540	208	10,7	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1560	208	10,8	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1580	208	10,9	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO
1600	208	11	FLUIDIZAÇÃO PISTONADA A PARTIR DO FUNDO DO LEITO