

territorium



18

Afirmar as Ciências Cindínicas



AREIA FLUIDIZADA COMO OLHOS DE ÁGUA - UM POTENCIAL RISCO*

Mário Talaia

Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Campus Santiago, Aveiro
mart@ua.pt

RESUMO

A natureza oferece-nos um grande número de fenómenos físicos que nos faz pensar. Fenómenos físicos com areia podem suscitar inúmeras curiosidades. Por exemplo, quando visitamos a praia de Olhos de Água no Algarve, durante a vazante, ficamos deslumbrados com um fenómeno físico que ocorre no areal da praia denominado de “olhos de água”. *Que analogia pode ser usada para explicar este fenómeno? Poderá ser considerado de risco para crianças?* Este artigo mostra as condições favoráveis para um leito fixo se tornar fluidizado.

Palavras-chave: Leito fluidizado, leito fixo, areia, velocidade mínima de fluidização, olhos de água, segurança.

RESUMEN

Arena fluidizada a manera de ojos de agua: un riesgo potencial - La naturaleza nos ofrece un gran número de fenómenos físicos que nos hace pensar. La arena puede plantear numerosas curiosidades. Por ejemplo, cuando visitamos la playa de Olhos de Água, en el Algarve, en el refluo, estábamos deslumbrados por un fenómeno físico que ocurre en la playa de arena llamados “ojos de agua”. Puede ser considerado un riesgo para los niños. Este trabajo muestra las condiciones de un lecho fijo a ser fluido.

Palabras clave: lecho fluidizado, lecho fijo, arena, velocidad mínima de fluidización, ojos de agua, seguridad

RESUMÉ

Lit fluidisé comme “l'eau les yeux” : un risque potentiel - La nature nous offre un grand nombre de phénomènes physiques qui nous fait penser. Des phénomènes physiques avec des sables peuvent susciter d'innombrables curiosités. Par exemple, quand nous visitons la plage de l'Algarve appelé Olhos de Água, au jusant, nous sommes éblouis par un phénomène physique, qui surgit sur le banc de la plage, nommé “l'eau les yeux”. *Quelle analogie peut être utilisée pour expliquer ce phénomène? Peut-il être considéré dangereux pour les enfants?* Cet article montre les conditions favorables pour le lit fixe se fluidise.

Mots-clé: lit fluidisé, lit fixe, sable, vitesse minimale de fluidisation, l'eau les yeux, sécurité.

ABSTRACT

Fluidized bed as “eyes water”: a potential risk - Nature offers us a great number of physical phenomena that makes us think. Physical phenomena may offer a great number of curiosities. For example, when we visited the beach in the Algarve called Olhos de Água, it is possible to observe a wonderful physical phenomenon that occurs in the sandy beach called “eyes water”. *That analogy can be used to explain this phenomenon? Could be considered a risk for children?* This article shows the conditions favorable for the fixed bed to become fluidized.

Key words: Fluidized bed, fixed bed, sand, minimum fluidizing velocity, “eyes water”, safety.

* O texto deste artigo corresponde à comunicação apresentada ao II Congresso Internacional de Riscos e VI Encontro Nacional, tendo sido submetido para revisão em 16-06-2010, tendo sido aceite para publicação em 15-09-2010. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 18, 2011, © Riscos, ISBN: 0872- 8941.

Introdução

A natureza, em termos de areia, oferece-nos um grande número de fenómenos físicos que nos faz pensar e meditar (W. NORDMEIER, 2001). Na realidade cada um de nós tenta encontrar uma explicação para a sua interpretação.

256

Por exemplo, quando visitamos a praia no Algarve chamada de Olhos de Água durante a vazante, ficamos deslumbrados com um fenómeno físico que ocorre no areal da praia denominado de “olhos de água”. Este fenómeno acontece porque há uma alimentação de água (que no local é “doce”) no leito das areias da praia que está localizada a alguma profundidade abaixo da superfície livre da areia. A água que ascende à superfície pode registar uma velocidade superficial capaz de tornar a areia fluidizada. Nesta situação, o balanço das forças passa pela intensidade da força resistente ou força de arrasto. Esta depende da massa volumica do fluido (neste caso, água), da área projectada da partícula segundo o movimento do fluido, das condições de escoamento através do coeficiente de forma da partícula e do quadrado da velocidade do fluido. Por outras palavras, a interpretação do fenómeno pode ser feita de forma simples considerando um leito de areia que é “atravessado” na vertical por uma corrente de água. A velocidade superficial da água se atingir certa intensidade pode tornar um leito de areia fixo em leito de areia fluidizada.

Se a força resistente ou de arrasto for de tal modo que consiga que as partículas sejam transportadas pela corrente do líquido, formam-se à superfície bolhas de água com areia, como se pode observar, no lado direito, da fig. 1.

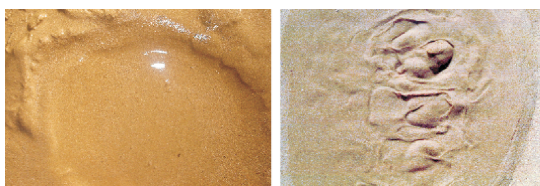


Fig. 1 - Formação de “olhos de água”.

Também, o estudo das areias pode ser realizado quando se observa o deslocamento de areias provocado pela acção do vento (aqui a massa volumica é cerca de $1,2\text{kg/m}^3$, ou seja o factor é agora de 1:1000 em face da água). Exemplos muito interessantes são observados nas praias da costa litoral ocidental de Portugal. Na realidade, podem ser consideradas de praias ventosas e por essa razão muitas pessoas usam o chamado guarda-vento. Uma actividade experimental simples para posicionar correctamente o guarda-vento consiste em deixar cair (entre os dedos das mãos) areia seca.

O vento que condiciona a intensidade da força resistente na areia permite conhecer a direcção do vento que é

visualizada pelo arrasto de areias, como se mostra na fig. 2.



Fig. 2 - Movimento da areia por acção do vento.

Na fig. 2 é possível observar como as areias na sua queda devido à acção da gravidade são deslocadas na direcção do vento. Nesta situação a areia pode ser considerada fluidizada. Noutras situações, como por exemplo numa praia ou num deserto, o movimento de areias finas condicionada pela força de corte provocada pela acção do vento pode criar no areal um movimento de ondas de areia e culminar com a formação e deslocamento de dunas. A fig. 3 mostra um exemplo.

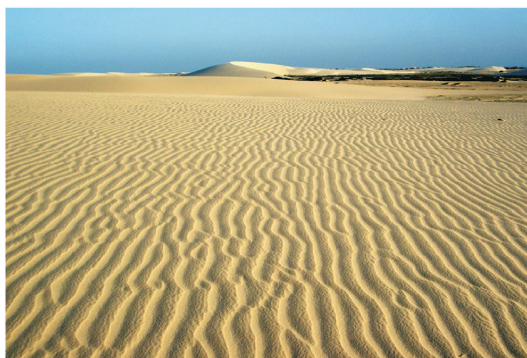


Fig. 3 - Ondas na areia e dunas produzidas pela acção do vento. Os sistemas dunares ocupam cerca de 450km da linha de costa portuguesa. Com especial importância, entre outras, refira-se a ria de Aveiro, o sector compreendido entre Tróia e Vila Nova de Milfontes, o sotavento algarvio e, em particular, a Paisagem Protegida da Arriba Fóssil da Costa de Caparica (<http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=7725>).

As dunas são estruturas móveis resultantes da acumulação de areias transportadas pelo vento, nas quais as plantas têm um papel fundamental no seu processo de formação (M. BRANDÃO, 2005). As dunas são formações notáveis que o vento cria em terra firme (W. FAIRBRIDGE, 1986) e formam-se em qualquer parte onde abunde areia e ventos com direcções dominantes (R. BAGNOLD, 1973). As dunas constituem ecossistemas costeiros que estabelecem a transição entre os sistemas marinho

e terrestre e são uma barreira natural de protecção à paisagem humanizada adjacente. Deste modo, devem ser protegidas.

As correntes existentes ao longo da costa, a acção dos ventos e da ondulação marítima, originam fenómenos de erosão e movimentação de sedimentos muito complexos, dos quais poderão resultar o aparecimento de zonas de acumulação sedimentar submersos vulgarmente chamados de Bancos de Areia. Estas zonas de acumulação sedimentar fornecem a areia que irá alimentar as praias e entrar no processo de formação das dunas.

Noutros locais, se a quantidade de areia transportada por acção do vento for muito elevada pode originar uma tempestade de areia. As tempestades de areia são mais frequentes em regiões com grande quantidade de areia, como em desertos onde se regista grande diferença de temperatura. A fig. 4 mostra uma tempestade de areia que atingiu a base aérea iraquiana e onde se observa a nuvem de areia que se desloca por acção do vento.



Fig. 4 - Tempestade de areia que atingiu a base aérea iraquiana em Al-Asad, 180km a oeste de Bagdad (http://www.bbc.co.uk/portuguese/especial/72_sandstorm/).

Uma tempestade de areia pode movimentar-se a uma velocidade de 95km/h. Pode “engolir” pessoas, destruir carros e prédios no seu caminho e pode até, no limite, mudar totalmente a aparência de uma área ou região. Com a presença de uma tempestade de areia o céu torna-se alaranjado até que a área “mergulhe” em total escuridão.

Em algumas áreas no deserto, as tempestades de areia podem levar à formação de novas dunas.

Fluidização de um leito de areia

A fluidização de um leito de areia pode ser conseguida quando se usa um líquido ou um gás. A teoria a usar é a mesma, apenas as propriedades físicas do fluido são diferentes. Quando se usa um líquido (por exemplo, água) a força resistente aumenta de um factor próximo de 1000. Esta faculdade de aumentar abruptamente a força resistente ou de arrasto de um factor 1000 é usada no transporte de inertes localizados a uma determinada

distância da costa litoral e no leito do mar e serve para alimentar praias que necessitam de areal ou de grandes quantidades de areia.

Nesta perspectiva, os resultados obtidos neste trabalho são para um sistema ar / sólido (areia), basicamente pela maior facilidade de manuseamento do equipamento usado em laboratório. No geral, as interpretações físicas para o sistema ar / sólido são semelhantes ao sistema água / sólido.

Em contexto real, as partículas usadas em leitos apresentam uma distribuição de diferentes tamanhos. Assim, o diâmetro médio das partículas pode ser avaliado a partir de

$$d_p = \frac{1}{\sum_i \left(\frac{x_i}{d_{pi}} \right)} \quad (1)$$

em que x_i representa a fracção do peso das partículas de diâmetro d_{pi} , em cada gama de partículas considerada.

As variáveis x_i e d_{pi} da expressão (1) são determinadas a partir do empacotamento de peneiros em vibração e de diferentes calibres.

A velocidade mínima de fluidização, $u_{mf} = u_{mf}(\rho_p, \rho_g, d_p, \mu_g)$, em que acontece quando pela primeira vez, à menor velocidade superficial ($u = Q_g/A$) o peso das partículas iguala $\Delta p(\pi/4)D^2$, ou seja

$$\Delta p = (\rho_p - \rho_g)L_{mf}(1 - \varepsilon_{mf})g \quad (2)$$

onde Δp representa a diferença de pressão entre duas tomas, ρ a massa volúmica da areia, ρ_g a massa volúmica do gás, ε_{mf} a porosidade na condição mínima de fluidização, g a aceleração devida a gravidade e L_{mf} a altura do leito na condição mínima de fluidização.

Nas experiências realizadas foi usado ar comprimido, como gás, e as propriedades do ar nas condições experimentais foram de $\rho_g = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ e $\mu_g = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

Usaram-se vários leitos com diferente diâmetro médio de partículas.

Para um leito de partículas (em que o topo da coluna estava aberto à atmosfera), os valores determinados experimentalmente foram: massa volúmica das areias $\rho_p = 2582 \text{ kg}/\text{m}^3$, diâmetro médio das areias $d_p = 196,2 \mu\text{m}$, porosidade do leito $\varepsilon = 0,494$ (para o leito fixo) e porosidade nas condições mínimas de fluidização $\varepsilon_{mf} = 0,499$.

Foi possível prever a velocidade mínima de fluidização, u_{mf} , através da expressão desenvolvida por M. TALALA (2002) para partículas com $d_p > 100 \mu\text{m}$ e dada por

$$\text{Re}_{mf} = \left[(28,7)^2 + 0,0428 \text{Ga} \right]^{1/2} - 28,7 \quad (3)$$

Na expressão (3) o número de GALILEU Ga (também conhecido por número de Arquimedes, Ar) depende apenas das propriedades físicas das partículas e do gás, com

$$\text{Ga} = \left[\rho_g d_p^3 (\rho_p - \rho_g) g \right] / \mu_g^2 \quad (4)$$

e

$$Re_{mf} = (\rho_g u_{mf} d_p) / \mu_g \quad (5)$$

que representa o número de REYNOLDS.

A partir das expressões (3), (4) e (5), facilmente se prevê, para a gama de areia seleccionada, a velocidade mínima de fluidização. Este resultado é de extrema importância, pois permite prever o caudal de gás necessário para fluidizar o leito de areia e para seleccionar o disco a colocar no medidor de caudal (selecção do diâmetro do furo do disco) para controlar o caudal de gás injectado na base da coluna.

Resultados e análise

A fig. 5 ilustra um esquema para a fluidização quando se usa uma coluna vertical com um leito de areia, um medidor de caudal e manómetros diferenciais de pressão em forma de U ligados em diferentes níveis à coluna.

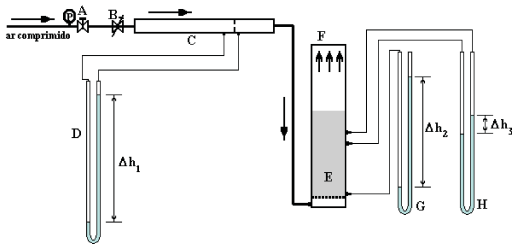


Fig. 5 - Esquema experimental.

A fig. 6 mostra no lado esquerdo dois manómetros diferenciais em forma de U em que o líquido manométrico está colorido para melhor observação do nível da água. Estes manómetros estão ligados à coluna de secção rectangular através do uso de tubos flexíveis transparentes (tipicamente o que se usam em aquários).



Fig. 6 - Instalação experimental usada.

A coluna vertical, do lado direito da figura, mostra um leito de areia, previamente calibrado em termos de granulometria. Ao longo da coluna estão localizadas várias tomas de pressão que servem para ligar tubos flexíveis aos manómetros diferenciais. Na base da coluna, há uma caixa-de-ar com um distribuidor que permite que o ar seja injectado na coluna de forma uniforme. O medidor de caudal que liga à base da coluna é visível na figura no lado de trás da coluna (de cor “azul”).

Na fig. 7 estão indicados transdutores diferenciais de pressão de resposta rápida TR que estão ligados a uma interface e que são excitados através de uma fonte de tensão, controlada por software desenvolvido para o efeito e colocado no computador. Os dados registados no tempo e gravados em ficheiro são posteriormente tratados. A diferença de pressão tanto pode ser lida nos manómetros diferenciais de pressão em forma de U (observação visual fácil até à condição mínima de fluidização) como pode ser registada a partir de transdutores diferenciais de pressão de resposta rápida. A associação em paralelo não afecta os sinais ou resultados.

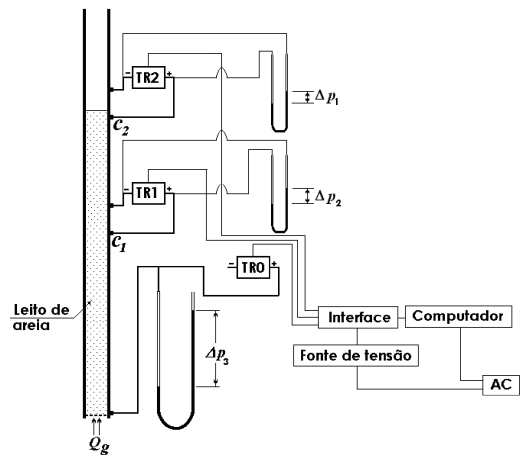


Fig. 7 - Montagem experimental com transdutores diferenciais de pressão.

De notar que a leitura registada a partir dos manómetros diferenciais de pressão em forma de U deve ser igual à que os transdutores registam até uma velocidade superficial ligeiramente superior à velocidade mínima de fluidização. A partir desta situação há oscilação no desnível de líquido manométrico e impossibilidade de leitura. Ou seja, torna-se difícil ler os registos discretos nos manómetros diferenciais de pressão em forma de U quando se registam velocidades superiores à velocidade mínima de fluidização, devido à passagem de excesso de gás que atravessa o leito fluidizado na forma de bolha o que faz o sinal flutuar drasticamente. Na prática, devido ao rebentamento das bolhas de ar à superfície do leito de areia o sinal oscila e torna-se difícil obter registos, devido aos níveis de água oscilarem abruptamente. Nestas circunstâncias o uso de transdutores diferenciais de pressão é relevante.

Para a areia com um diâmetro médio de $215\mu\text{m}$ avaliou-se experimentalmente a velocidade mínima de fluidização, que deverá estar próxima do valor teórico previsto ($\approx 4,5\text{ cm/s}$).

Na fig. 8 mostram-se círculos de quatro cores a que correspondem massas ou alturas diferentes do leito de areia. A observação visual da figura mostra que à medida que a velocidade da corrente de ar aumenta, para cada amostra de areia, a diferença de pressão (medida em cmca) aumenta até um certo valor e depois mantém-se constante. Os valores obtidos antes de se atingir condições de suspensão das areias pertencem ao que se chama de leito fixo, ou seja, até se atingir cerca de $4,4\text{ cm/s}$.

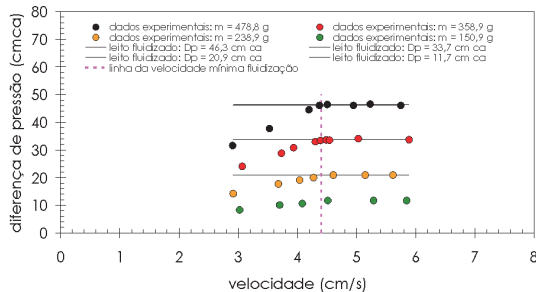


Fig. 8 - Velocidade mínima de fluidização diferentes alturas de areia.

Experimentalmente, a velocidade mínima de fluidização é obtida através da intercepção da recta de ajuste desses pontos com a recta obtida a partir dos valores que indiciam leito fluidizado (D. GELDART, 1986; D. KUNII e LEVENSPIEL, 1991 e J. DAVIDSON *et al.*, 1985).

Como era de esperar, a velocidade mínima de fluidização não depende da quantidade de areia que é colocado no interior da coluna, mas depende, do tamanho da areia, das propriedades físicas da areia e das propriedades físicas do ar. O valor experimental obtido está indicado pela linha a traço interrompido e de cor vermelha, com o valor de cerca de $4,4\text{ cm/s}$ (muito próximo do valor teórico previsto que era cerca de $4,5\text{ cm/s}$).

A fig. 9 mostra um exemplo análogo para uma areia de diâmetro inferior (cerca de $170\mu\text{m}$) em que foram usados transdutores diferenciais de pressão ou seja, um sistema de aquisição de dados automático.

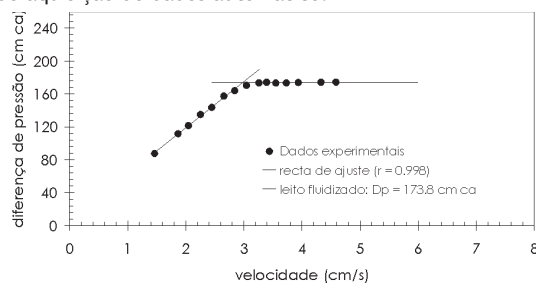


Fig. 9 - Influência da velocidade do fluido na queda de pressão do leito.

A fig. 9 mostra o valor da velocidade de fluidização obtida pela intercepção da recta de ajuste dos pontos obtidos para leito fixo e da recta dos pontos médios para leito fluidizado.

Esta análise é confirmada pelos sinais registados no tempo pelo transdutor diferencial de pressão TR1 e indicado na fig. 7. Na fig. 10 mostram-se três momentos de registos que indicam a velocidade mínima de fluidização.

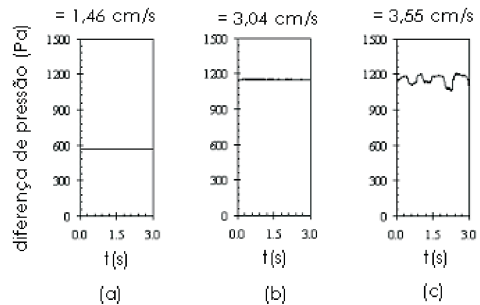


Fig. 10 - Sinais registados pelo sensor diferencial de pressão TR1.

A observação visual da fig. 10 mostra que em (a), para uma velocidade de $1,46\text{ cm/s}$, a diferença de pressão do leito entre tomas (distância de 100 mm) é de cerca de 600 Pa e de sinal constante; que em (b), para uma velocidade de $3,04\text{ cm/s}$, a diferença de pressão do leito entre tomas é de cerca de 1200 Pa com aspecto linear (indicia que não há ainda passagem de bolhas de ar através do leito) e que em (c), para uma velocidade de $3,55\text{ cm/s}$, o sinal registado oscila em cerca de 1200 Pa , o que mostra que há passagem de bolhas de ar ou seja que a velocidade superficial que atravessa o leito de areia é superior à velocidade mínima de fluidização, ou seja, $v - v_{mf} > 0\text{ m/s}$. Nesta situação, o leito de areia está fluidizado mas a observação visual do sinal mostra a passagem do excesso de ar na forma de bolhas de ar.

Os resultados que acabamos de referir são mostrados na coluna transparente da fig. 11. A observação visual mostra bolhas de ar a ascenderem no interior do leito de areia fluidizada, quando $v - v_{mf} > 0\text{ m/s}$ (M. TALAIA e E. MELO, 2007).



Fig. 11 - Bolhas de ar a ascenderem num leito fluidizado.

Características do leito de areia

São muito interessantes as conclusões que se tiram dos valores registados para $d = 10$ cm.

A condição de fluidização, areia em suspensão, regista o valor médio de $\Delta p = 12,2$ cmca. Em unidades do sistema SI é necessário multiplicar o valor por $\rho_l g$, sendo ρ_l a massa volúmica da água (líquido manométrico usado).

Por outro lado sabemos que este valor de Δp também pode ser obtido a partir da expressão

$$\Delta p = \rho_{ap} g h \quad (6)$$

em que h é a distância entre tomas e ρ_{ap} a massa aparente da areia.

A igualdade de $\Delta p = 12,2$ cmca com a expressão (6) permite determinar a massa aparente da areia na condição de fluidização, resultando

$$\rho_{ap_{mf}} = 1220 \text{ kg/m}^3 \quad (7)$$

Assim, o valor da porosidade na condição de fluidização será

$$\epsilon_{mf} = 1 - \frac{\rho_{ap_{mf}}}{\rho_s} \Leftrightarrow \epsilon_{mf} = 0,53 \quad (8)$$

Pode-se concluir que os valores obtidos permitem afirmar que o valor da massa volúmica aparente na condição mínima de fluidização é menor do que a massa volúmica aparente do leito fixo da areia e que a porosidade na condição mínima de fluidização é maior do que a porosidade na condição de leito fixo de areia.

Que informação se pode tirar da velocidade da frente do leito de areia?

Apresentam-se os resultados obtidos para um leito de areia fluidizada quando a frente da areia tem movimento uniforme e o sinal é registado por um transdutor diferencial de pressão no tempo. A fig. 7 ilustra esta situação quando, no tempo, a frente do leito de areia está situada entre as tomas do TR2. Assim, a observação visual do leito de areia contido na coluna transparente mostra que à medida que aumentamos a velocidade da corrente de ar, a altura do leito aumenta até se atingirem condições de fluidização. Se a velocidade da corrente de ar continuar a aumentar, a diferença que mede o excesso de ar, ou seja a diferença entre a velocidade da corrente de ar actual e a velocidade mínima de fluidização atravessa o leito na forma de bolhas de ar.

O tamanho das bolhas de ar aumenta à medida que se aumenta o excesso de ar que se injecta na base da coluna. Se olharmos para a frente do leito da areia que é definida pela interface do topo do leito com a atmosfera, verificamos que a frente do leito se desloca de baixo para cima com uma velocidade constante até

que as bolhas ao atravessar a interface do topo do leito/atmosfera rebentam e provocam uma queda abrupta do leito de areia.

A fig. 12 mostra os sinais obtidos para a diferença de pressão registados para o transdutor TR1 e transdutor TR2 fig. 7. A linha de cor “vermelha” representa a variação de pressão ao longo do tempo para um transdutor, cujas tomas de pressão estão localizadas a meio do leito de areia e a linha de cor “azul” representa a variação da pressão da frente do leito de areia.

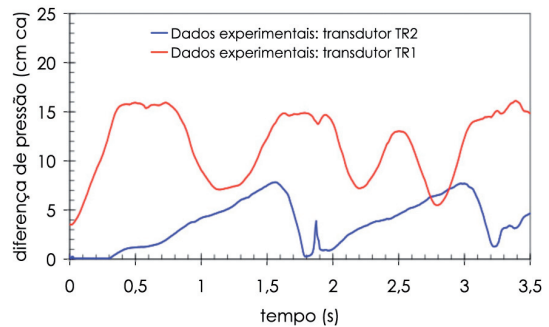


Fig. 12 - Sinais registados no leito fluidizado de areia.

A oscilação acentuada do sinal do TR1, transdutor TR1, indica que há um excesso de ar que atravessa na forma de bolhas de ar o leito da areia fluidizada. Este excesso é marcado na elevação e queda da frente do leito de areia fluidizada e registado pelo sinal registado pelo transdutor TR2.

A observação da fig. 12 mostra que a linha do sinal registado pelo transdutor TR2 apresenta um deslocamento linear da frente entre cerca de 0,4s a cerca 1,6s e entre 2,1s e cerca 3,0s. Este resultado é muito interessante pois permite avaliar a velocidade superficial de ar que é injectado ou alimentado na base da coluna. Da (fig. 12) pode-se avaliar o declive médio que se regista entre os intervalos de tempo indicados. Assim, a velocidade da frente do leito de areia é dada pela inclinação da linha definida pela diferença de pressão no tempo (marcada pelo excesso de ar que atravessa o leito de areia) em unidades de velocidade somada à velocidade mínima de fluidização, vindo

$$v = \frac{\Delta p}{\Delta t} \frac{1}{\rho_{ap} g} + v_{mf} \quad (9)$$

em que ρ_{ap} representa a massa volúmica aparente da areia e o valor de $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ é obtido pelo registo da linha de cor “azul”.

Por outro lado, da (fig. 12), é possível obter o declive médio das linhas inclinadas, sendo

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = (623,2 \pm 25,4) \text{ Pa/s} \quad (10)$$

Conhecido o valor de v_{mf} e ρ_{ap} na condição mínima de fluidização, é possível determinar a velocidade superficial que é alimentada na base da coluna ou seja $v = (8,96 \pm 0,20) \text{ cm/s}$. O valor indicado pelo medidor

de caudal de $v = 8,95$ cm/s está incluído na gama de valores o que mostra que a teoria desenvolvida a partir do registo do sinal da frente do leito de areia é correcta.

Considerações finais

Neste trabalho, apresenta-se a teoria de duas fases que condiciona um leito fluidizado. Foram consideradas várias aplicações em contexto real que ajudam a interpretar diferentes fenómenos observados na natureza.

Foram realizados estudos dinâmicos a diferentes leitos de areia.

Foram criadas condições mínimas de fluidização e investigou-se o comportamento do leito de areia quando se injecta na base da coluna um excesso de ar.

O movimento da superfície livre da areia permitiu investigar e deduzir uma expressão que confirma a velocidade superficial de gás que atravessa o leito de areia.

Os resultados obtidos são muito interessantes e mostram que é possível, em laboratório, implementar actividades experimentais para o estudo do comportamento de um leito de areia (leito fixo e leito fluidizado).

Por último, espera-se que este trabalho contribua para uma aprendizagem na interpretação física de leitos fluidizados e que desenvolva competências para a interpretação física de fenómenos naturais similares. A presença de “olhos de água” numa praia pode ser considerado, de facto, um perigo para crianças e tanto mais quanto mais profunda for a alimentação do leito de areia e o caudal de água.

Referências Bibliográficas

- BAGNOLD, R.A. (1973). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Chapman and Hall, London.
- BRANDÃO, M. (2005). *Modelo de Polya e a Resolução de Problemas Ambientais no 1º Ciclo: Conservação das dunas litorais*. Tese de mestrado em Estudos da Criança - Promoção da Saúde e do Meio Ambiente Trabalho, Universidade do Minho
- DAVIDSON, J.F., CLIFT, R. and HARRISON, D. (1985). *Fluidization*. Academic Press, London.
- FAIRBRIDGE, W. R. (1986). *História da Terra*. Lisboa: Selecções do Readers Digest.
- GELDART, D. (1986). *Gas Fluidization Technology*. John and Sons, Ltd.
- KUNII, D. and LEVENSPIEL (1991). *Fluidization Engineering*, Butterworth-Heinemann series in chemical engineering, 2ª Edition.
- NORDMEIER, W. (2001). *Physics of sand - Formation of Ripple Patterns and Dunes*. Selected Contribution. In International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000, Pints, R. & Suriqach, S. Elsevier. Editions, ISBN2 - 84299-312-8, Paris, 547-549.
- TALAIA, M.A.R. (2002). *Incipient Fluidization: the Influence of the Pressure on the Minimum Fluidizing Velocity and Voidage Fraction*. Paper Presented on the 2nd Annual European Multiphase Systems Institute meeting and 40th European Two-Phase Flow Group meeting, Stockholm, Sweden, Paper D-5, 3 pages.
- TALAIA, M. e MELO, E. (2007). *Escoamento de duas fases num leito de areia*. Livro resumo do 5º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG e 8º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia, Peniche, de 5 a 8 de Fevereiro.