

# ESTUDO DE PROCESSOS EROSIVOS COM A UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR DE CHUVAS

Glauber Vieira de Freitas<sup>1</sup>  
Júlia Cavalcanti Fadul<sup>2</sup>  
Flávio Rodrigues Trindade<sup>3</sup>  
Adma Tanajura Elbachá<sup>4</sup>  
Jorge Luis Zegarra Tarqui<sup>5</sup>  
Miriam de Fátima Carvalho<sup>6</sup>

**Resumo:** Este trabalho apresenta resultados preliminares obtidos do desenvolvimento do projeto “Estudo de Processos Erosivos na Área Urbana de Salvador”, que objetiva estudar a erodibilidade dos solos de maior ocorrência em áreas de risco da cidade. O projeto foi dividido em três etapas: a primeira, já concluída, trata-se da montagem e calibração de um simulador de chuva utilizado para reproduzir em laboratório diversas intensidades de chuva; a segunda etapa consta do levantamento de informações sobre solos, dados pluviométricos e escolha das áreas específicas de estudo; e a terceira etapa consta da execução de testes de erodibilidade em amostras indeformadas coletadas e da avaliação dos resultados. Na primeira etapa, o simulador de chuva de disco giratório, modelo FEL 3, foi montado e foram realizados alguns testes de calibração que permitiram obter a variação da intensidade e uniformidade da chuva simulada com aumento da abertura do disco para dois bocais de tamanhos diferentes e uma combinação de velocidade-pressão no disco. Com os dados levantados foi possível traçar gráficos Intensidade x Pressão, para as diversas aberturas do disco. Os resultados mostram a possibilidade de simular chuvas de 60mm/h até 530mm/h. Foram também realizados ensaios de perda de solo devido à erosão por impacto de gotas de chuva “splash”, para areia, variando a intensidade da chuva simulada.

**Palavras-chave:** Erosão; Perdas por lavagem; Perda por “splash”.

## 1 - INTRODUÇÃO

Erosão é o processo de desagregação e remoção do solo causado pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo, etc. Rochas, solos e coberturas vegetais sofrem a ação de agentes erosivos, ocorrendo a retirada e o transporte do material na forma de fragmentos, soluções e colóides para outros locais. A erosão também pode ser induzida pela ação humana que acelera esse processo por meio de desmatamento, queimadas e ocupação irregular e não planejada. Em síntese pode-se dizer que os processos erosivos dependem de uma série de fatores naturais como clima, geomorfologia, natureza do solo e cobertura vegetal, os quais podem ser alterados pela ação do homem, que quase sempre os intensifica, (Fontes e Pejon, 2001, p.2).

De acordo com o agente erosivo, distinguem-se diferentes tipos de erosão, a saber: erosão fluvial (ação dos rios), eólica (ação dos ventos), marinha (ação do mar), glacial (ação do gelo) e pluvial (ação das chuvas). Dentre todos os tipos de erosão, aquela causada pela ação das águas das chuvas é a principal responsável pelo processo de erosão no Brasil e outros países tropicais. O fenômeno da erosão

---

<sup>1</sup> Iniciação Científica (Fapesb) – Estudante de Engenharia Civil – UCSal - e-mail: gvieirinha@ig.com.br

<sup>2</sup> Iniciação Científica (Fapesb) – Estudante de Engenharia Civil – UCSal - e-mail: juliafadul@uol.com.br

<sup>3</sup> Engenheiro Civil - e-mail: flavioort@hotmail.com

<sup>4</sup> MSc – Professora da Escola de Engenharia – UCSal - e-mail: aelbacha@bol.com.br

<sup>5</sup> Dr. – Professor da Escola de Engenharia – UCSal - e-mail: jlztarqui@yahoo.com.br

<sup>6</sup> Dra. – Professora da Escola de Engenharia – UCSal - e-mail: miriam@ucsal.br

hídrica, embora pareça de simples compreensão destaca-se por sua complexidade e é causada pela inter-relação e multiplicidade de seus fatores. A erosão hídrica começa quando as gotas de chuva começam a incidir sobre a superfície do solo, desagregando as partículas através do impacto e transportando-as, em seguida, sob a forma de enxurrada. O impacto das gotas de chuva “Splash” coloca em suspensão as partículas mais finas que ao sedimentarem reduzem a porosidade do solo que conseqüentemente reduz o seu poder de infiltração e aumenta o escoamento superficial (Filho et al, 1992, p.1363).

Para Fernandes (2003, p.28), são, convencionalmente, estabelecidos três tipos de erosão hídrica:

a) Erosão laminar ou lavagem superficial: é a remoção do solo da camada superior do terreno. O escoamento de água em forma de filetes lava a superfície do terreno arrastando as partículas do solo. Esta é a forma mais perigosa de erosão pois, é dificilmente percebida de início, ficando visível apenas após descobrir as raízes das plantas. A erosão superficial é constatada em áreas com pequeno grau de declividade e com solo desprotegido.

b) Erosão em sulcos ou por escoamento difuso: em função das características dos solos, a enxurrada, atuando sobre um terreno, pode formar sulcos. Em algumas encostas, a água que escorre de pequenos sulcos converge para outros, mais acentuados, formando no terreno uma estrutura semelhante à mão. Por isto, a erosão em sulcos recebe a denominação de erosão-em-dedos. É facilmente percebida e dá início à formação de voçorocas.

c) Erosão em gargantas ou escoamento concentrado: aparecem em terrenos arenosos e porosos. Em caso de enxurradas não controladas, ou não eliminados os seus efeitos sobre os terrenos, serão formados os sulcos que irão se aprofundando, desgastando o subsolo formando as voçorocas.

As perdas de solo por erosão hídrica dependem principalmente da declividade do terreno, do regime pluviométrico e das características do solo. Segundo Filho (1992, p.1363) as áreas com solos profundos e moderadamente profundos, submetidos à chuva de baixa intensidade são os menos passíveis de sofrerem erosão. Por outro lado, solos rasos e de granulometria siltosa ou arenosa, são os mais vulneráveis aos processos erosivos.

Nas áreas urbanas, a ação antrópica associada à ocupação desordenada e sem planejamento das áreas de risco tem sido as principais causas de ocorrências de erosão. Nessas áreas, observa-se a prática da retirada da cobertura vegetal para instalação de moradias precárias que associada à falta de sistema de esgotamento sanitário e coleta de resíduos contribuem para o aparecimento de problemas de erosão e deslizamentos das encostas, os quais coloca em risco a vida das pessoas.

Dentro deste contexto, está em desenvolvimento o projeto “Estudo de Processos Erosivos na Área Urbana de Salvador” que objetiva estudar a erodibilidade dos solos de maior ocorrência em áreas de risco da cidade. O projeto foi dividido em três etapas: a primeira, já concluída, trata da montagem e calibração de um simulador de chuva utilizado para reproduzir em laboratório diversas intensidades de chuva; a segunda etapa consta do levantamento de informações sobre solos, dados pluviométricos e escolha das áreas específicas de estudo; e a terceira etapa consta da execução de testes de erodibilidade em amostras indeformadas coletadas e da avaliação dos resultados. Nesse artigo, serão apresentados e discutidos os resultados preliminares da calibração do simulador de chuvas.

## **2 - SIMULADOR DE CHUVAS**

### **2.1-Descrição e montagem do equipamento**

Para desenvolvimento do projeto, está sendo utilizado um simulador de chuva de disco giratório modelo FEL 3, fabricado pela Armfield “Figura 1”. Este equipamento pode ser utilizado tanto em laboratório, quanto em campo para estudos de infiltração, perda de solo, influência de coberturas.

O equipamento é composto por uma câmara pulverizadora suportada por uma estrutura metálica e por um módulo de serviço que compreende reservatório de água, painel de controle e bomba. A

câmara pulverizadora é composta por um disco giratório acionado por um motor, um sistema de aspersão (bocal) e, um medidor de pressão. A “Figura 2” apresenta vários acessórios que constituem parte integrante do equipamento: mesa com ajuste angular, coletores de chuva, recipientes para amostras (para os ensaios de perda por “splash”), caixas de 150 mm<sup>2</sup> (que permitem a realização do ensaio de perda por lavagem), acessórios para realização de ensaio em campo e dois tipos diferentes de bocais (elemento modificador de tipo de chuva).

O equipamento funciona através do bombeamento de água do reservatório até o medidor de fluxo, o qual permite ajustar a vazão desejada. Em seguida, a água é encaminhada para o sistema de aspersão (bocal) que possui uma derivação para conhecimento da pressão da água que chega no bocal via um manômetro de Bourbon. O jato de água é interceptado pelo disco giratório, cuja abertura varia de 5° a 40° de 5 em 5°, permitindo obter uma variação na intensidade das precipitações induzidas. A água interceptada, que não passa pelas placas do disco, retorna para o reservatório.

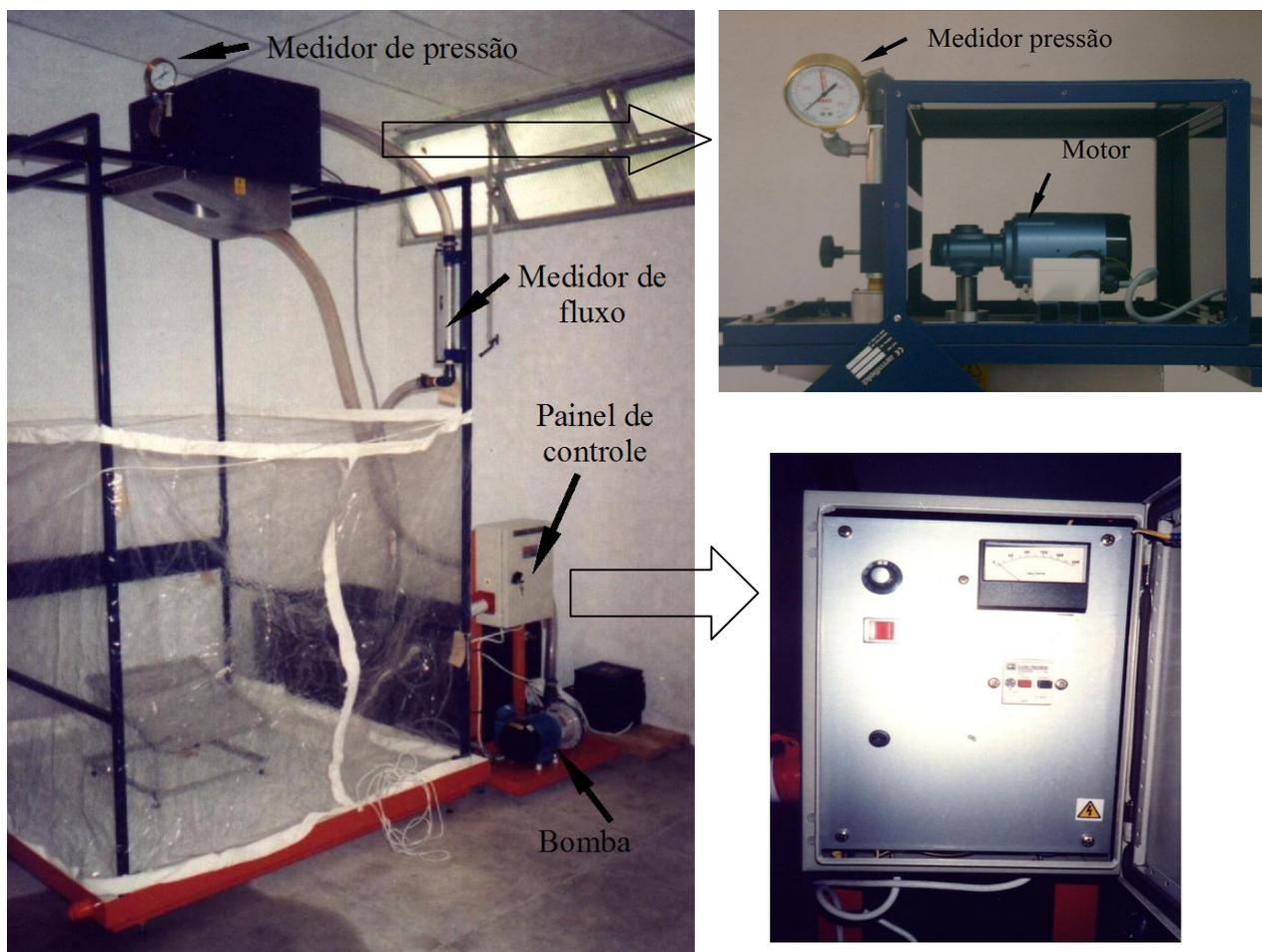


Figura 1 – Vista do Simulador de chuvas



Figura 2 – Mesa ajustável, coletores de chuva e recipientes para ensaio de perda por “Splash”.

## 2.2 - Ensaio de calibração

Após a montagem e verificação do funcionamento adequado de todo sistema realizaram-se vários experimentos de calibração do simulador que permitiram obter a variação da intensidade e uniformidade de chuva simulada, com o aumento da abertura do disco para dois bocais de diferentes tamanhos. Também foram realizados ensaios em amostras de areia para obtenção de relação entre a erosão por Splash e a intensidade de chuva simulada, os quais serão apresentados no item 3 deste trabalho.

A relação entre a intensidade e abertura do disco foi obtida para uma velocidade padrão de rotação do disco em 70 rev/min e três pressões (0,2, 0,4 e 0,6 bar).

Inicialmente, a mesa metálica contendo seis coletores de água foi centralizada embaixo do bocal de aspersão. Os coletores foram cobertos com uma placa de madeira, a bomba foi ligada e ajustou-se a vazão através do registro até obter a pressão de interesse. Após a obtenção de uma chuva uniforme, retirou-se a placa que cobria os coletores e estes foram expostos à chuva por um período de 10 minutos. Após este tempo, recobriram-se os coletores, desligou-se a bomba e então mediu-se o volume de água coletado em cada recipiente. Conhecendo-se o volume de água em cada coletor e o tempo de exposição e a área do coletor, procedeu-se o cálculo da intensidade da chuva simulada através da “equação (1)” (Armfield, 1998, p.A-2).

$$I = \left( \frac{Q}{A.t} \right) . 600 \quad (1)$$

Onde: Q = volume de água coletado (ml); A = área do recipiente (cm<sup>2</sup>); t = tempo (min), I= intensidade de chuva (mm/h)

A intensidade média foi obtida a partir das intensidades dos 06 coletores. Para validar a média fez-se o cálculo do coeficiente de uniformidade (CU) mediante a “expressão (2)” (Christiansen, 1941, p.89-92).

$$CU = 100 \left( 1 - \frac{\sum |x|}{m.n} \right) \quad (2)$$

Onde: m= média das profundidades; n= número de observações; x= desvio da profundidade média individual observada.

A “Tabela 1” apresenta os resultados de intensidade de chuva (mm/h) com abertura do disco (°), para os respectivos valores de pressão do sistema e bocal utilizado, além das equações de ajustes, coeficientes de determinação e de uniformidade obtidos para cada série de ensaio. Esses resultados permitiram traçar gráficos de intensidade x abertura do disco para cada bocal estudado considerando as diferentes pressões, como mostra a “Figuras 3 e 4”. Os resultados mostram uma tendência linear entre a abertura e intensidade de chuva simulada para os dois bocais estudados, apresentando bons coeficientes de determinação e coeficiente de uniformidade aceitáveis.

Tabela 1 – Resultados de calibração obtidos para o simulador de chuvas Modelo FEL3.

| Bocal | Pressão (bar) | Abertura do disco (°) | Intensidade (mm/h) | Equação de ajuste entre intensidade e abertura | R <sup>2</sup> | CU    |
|-------|---------------|-----------------------|--------------------|--|----------------|-------|
| 01    | 0,20          | 10,00                 | 87,16              | $y = 9,7397x - 10,81$                          | 0,9973         | 82,83 |
|       |               | 20,00                 | 178,58             |  |                | 79,45 |
|       |               | 30,00                 | 290,47             |  |                | 74,61 |
|       |               | 40,00                 | 374,52             |  |                | 80,79 |
|       | 0,40          | 5,00                  | 55,29              | $y = 10,159x + 0,665$                          | 0,9953         | 89,57 |
|       |               | 10,00                 | 96,35              |  |                | 92,83 |
|       |               | 15,00                 | 146,11             |  |                | 88,77 |
|       |               | 20,00                 | 200,22             |  |                | 89,16 |
|       |               | 25,00                 | 271,82             |  |                | 82,70 |
|       |               | 30,00                 | 311,80             |  |                | 87,63 |
|       |               | 35,00                 | 349,92             |  |                | 85,42 |
|       |               | 40,00                 | 402,49             |  |                | 86,82 |
|       | 0,60          | 10,00                 | 117,73             | $y = 10,072x + 19,01$                          | 0,9996         | 80,33 |
|       |               | 20,00                 | 221,99             |  |                | 87,86 |
|       |               | 30,00                 | 324,06             |  |                | 91,94 |
|       |               | 40,00                 | 419,43             |  |                | 90,00 |
| 02    | 0,20          | 10,00                 | 342,28             | $y = 5,7513x + 300,95$                         | 0,9493         | 60,76 |
|       |               | 20,00                 | 438,93             |  |                | 77,24 |
|       |               | 30,00                 | 476,10             |  |                | 84,34 |
|       |               | 40,00                 | 521,60             |  |                | 87,55 |
|       | 0,40          | 15,00                 | 312,19             | $y = 5,7269x + 226,49$                         | 0,9877         | 85,93 |
|       |               | 20,00                 | 337,83             |  |                | 86,99 |
|       |               | 25,00                 | 379,51             |  |                | 87,88 |
|       |               | 30,00                 | 393,06             |  |                | 95,00 |
|       |               | 35,00                 | 421,70             |  |                | 93,85 |
|       |               | 40,00                 | 459,60             |  |                | 92,81 |
|       | 0,60          | 15,00                 | 289,39             | $y = 6,5875x + 192,9$                          | 0,9872         | 88,33 |
|       |               | 20,00                 | 332,32             |  |                | 89,61 |
|       |               | 25,00                 | 359,08             |  |                | 95,29 |
|       |               | 30,00                 | 381,90             |  |                | 94,36 |
| 35,00 |               | 417,15                | 94,18              |  |                |       |
| 40,00 |               | 464,49                | 94,21              |  |                |       |

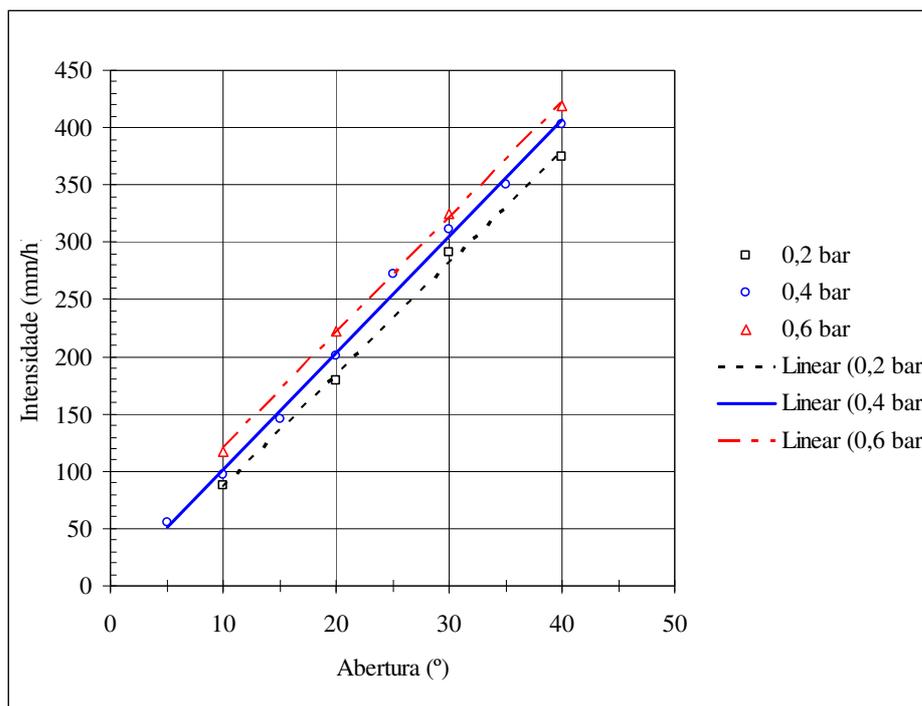


Figura 3 – Curvas de intensidade x abertura do disco obtidas para o bocal 1.

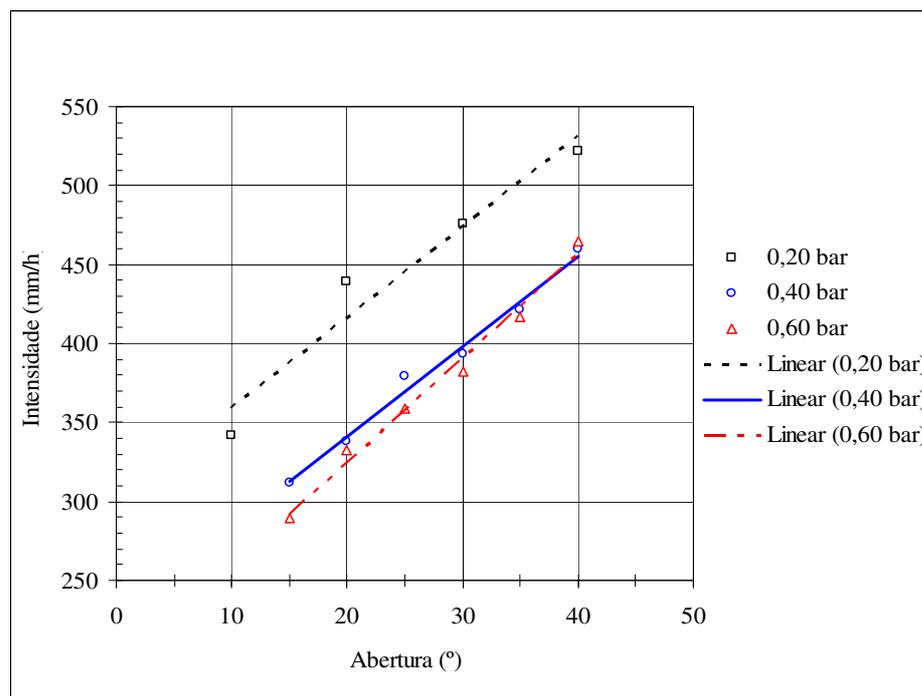


Figura 4 – Curvas de intensidade x abertura do disco obtidas para o bocal 2.

A título de melhor visualização, os mesmos resultados apresentados nas “Figuras 3 e 4” são rerepresentados nas “Figuras 5 e 6” para os bocais 1 e 2, respectivamente. Da análise dos resultados do bocal 1 pode-se verificar que à medida que a pressão do sistema aumenta, ocorre um aumento dos

valores de intensidade, para uma mesma abertura. Para esse bocal, tem-se a possibilidade de atingir chuvas de 85 mm/h a 375 mm/h para a pressão de 0,2 bar, com abertura de 10° e 40°, respectivamente. Para a pressão de 0,4 bar esta variação pode ser de 100 mm/h a 398 mm/h e finalmente de 115 mm/h a 420 mm/h para a pressão de 0,6 bar. Os resultados obtidos com o bocal 2, permitiram obter um tipo diferente de chuva “Figura 6”, onde para uma mesma abertura, as maiores intensidades são correlacionadas com uma menor pressão. Para este bocal, é possível obter chuva de 423 mm/h até 530 mm/h (pressão 0,2 bar), intensidades de 370 mm/h até 482mm/h (pressão 0,4 bar) e de 315 mm/h até 450 mm/h (pressão de 0,60 bar). Acredita-se que uma possível explicação para esse fato seja em virtude do bocal 2 apresentar diâmetro superior ao do bocal 1 trazendo com isso menor pulverização do jato que sai dele. Dessa forma, a água fica concentrada em uma determinada área tendo menor raio de ação, aumentando o volume coletado nos coletores e conseqüentemente, gerando um aumento da intensidade.

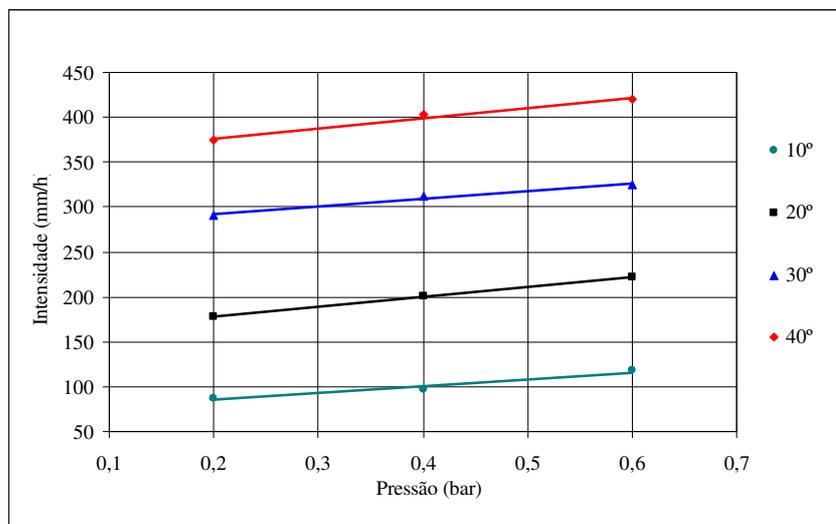


Figura 5 – Curvas pressão x intensidade obtidas para o bocal 1.

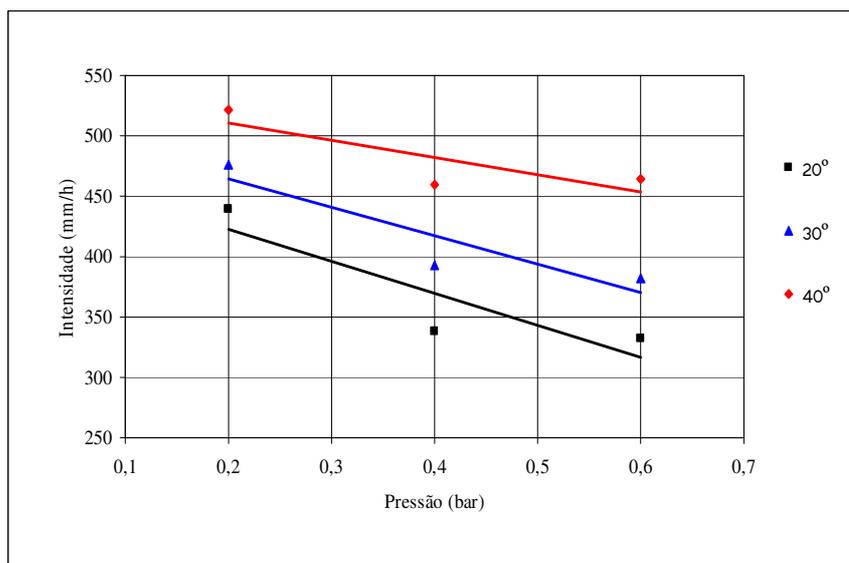


Figura 6 – Curvas pressão x intensidade obtidas para o bocal 2.

### 3-PERDAS POR “SPLASH”

O principal objetivo da realização deste ensaio consistiu no domínio da metodologia de execução do ensaio e na obtenção de relação entre intensidade da chuva simulada com a perda por Splash para um solo arenoso. Isso foi possível utilizando um valor médio entre dois ensaios.

A areia utilizada foi passada na peneira de malha # 60 (0,250 mm) e retida na # 50 (0,246 mm). Inicialmente, colocou-se areia seca em cada recipiente de ensaio com diâmetro de cerca 75mm, cuja base é formada de tela soldada, que foi protegida por um geotêxtil para que não houvesse perda de material. A areia foi acomodada através de pequenas vibrações e, então, obteve-se a massa seca do conjunto (massa do recipiente + areia seca). As amostras foram saturadas e em seguida colocadas sobre a mesa de ensaio e próximo a estas foram dispostos os coletores de chuva (de acordo com manual do equipamento) a fim de verificar qual era a real intensidade de chuva que a amostra estava submetida. A exposição das amostras ao fenômeno da chuva foi feita por um período de 10 min utilizando o bocal 1. Após este período, as amostras foram levadas para a estufa (105°C) até a secagem completa. A diferença de massa inicial e final de cada amostra é dita como perda devido ao efeito do impacto das gotas chamado de efeito Splash.

A “Tabela 2” apresenta os resultados obtidos dos ensaios de perdas por Splash e a “Figura 7” ilustra esses resultados. Os resultados mostraram, para as pressões de 0,2 e 0,4, bons coeficientes de determinação entre intensidade x perda por Splash. Para a pressão de 0,6 bar, os resultados não apresentaram uma boa correlação.

Tabela 2 – Resultados de ensaios perda por Splash

| Abertura (°) | Intensidade (mm/h) | Areia Perdida (%) | Pressão (bar) | Equação                | R <sup>2</sup> |
|--------------|--------------------|-------------------|---------------|------------------------|----------------|
| 10           | 129,62             | 2,70              | 0,6           | $y = 18,815x + 130,39$ | 0,4966         |
| 15           | 178,96             | 5,30              |               |                        |                |
| 20           | 235,86             | 4,95              |               |                        |                |
| 25           | 290,18             | 12,88             |               |                        |                |
| 30           | 348,32             | 14,00             |               |                        |                |
| 35           | 381,27             | 8,47              |               |                        |                |
| 40           | 446,20             | 10,04             | 0,4           | $y = 31,755x - 49,077$ | 0,9926         |
| 10           | 123,72             | 5,26              |               |                        |                |
| 25           | 250,73             | 9,67              |               |                        |                |
| 30           | 300,54             | 11,29             |               |                        |                |
| 40           | 390,02             | 13,50             | 0,20          | $y = 26,132x - 86,672$ | 0,9945         |
| 10           | 121,12             | 8,21              |               |                        |                |
| 20           | 180,37             | 9,93              |               |                        |                |
| 30           | 277,86             | 13,81             |               |                        |                |
| 40           | 319,67             | 15,72             |               |                        |                |

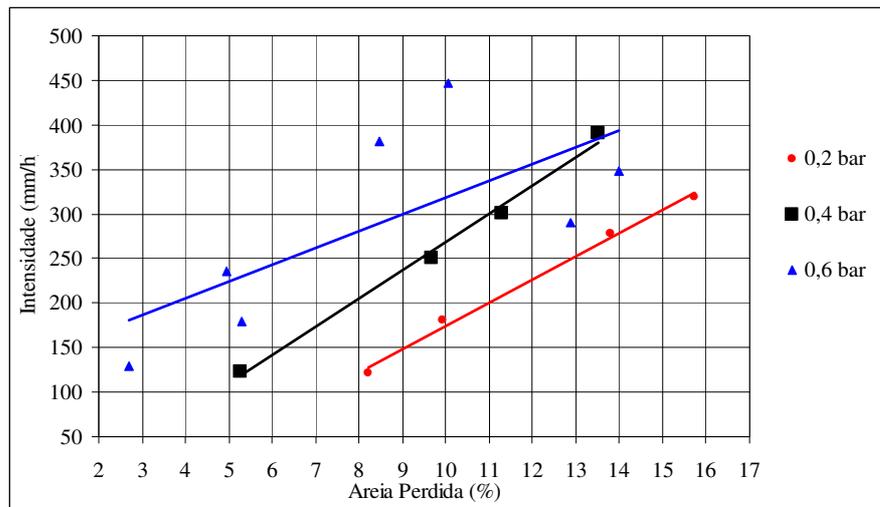


Figura 7 – Relação entre a perda de areia por Splash e intensidade de chuva para pressões de 0,2, 0,4 e 0,6 bar.

#### 4 - CONCLUSÃO

Os ensaios de calibração do simulador de chuvas FEL 3 demonstram, para cada bocal utilizado, a possibilidade de simulação de chuvas com diferentes intensidades (60 a 530 mm/h) variando a pressão e abertura do disco de rotação do equipamento. Os resultados desta etapa serão utilizados em etapas futuras para simulação de chuvas que ocorrem nas áreas estudadas. Porém cabe ressaltar que as etapas 2 e 3 deste projeto de pesquisa ainda encontram-se em andamento. Estes resultados representam apenas a primeira parte deste estudo. Dados sobre áreas de risco da cidade de Salvador foram coletados junto à empresa responsável pela elaboração do Plano Diretor de Encostas e visitas foram feitas a fim de determinar o local da coleta para procedimento da terceira etapa.

#### 5 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapesb, à UCSal pelo suporte financeiro no desenvolvimento da pesquisa e à Prefeitura Municipal de Salvador pela disponibilização de dados das áreas de riscos da cidade.

#### 6-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMFIELD. **Manual de uso do simulador de chuvas**. Armfield, Inglaterra, 1998.

CHRISTIANSEN, J. E. **The uniformity of application of water by sprinkler systems**. *Agricultural Engineering*. 22: 89-92. (1941).

FERNANDES, D. de O. **Erodibilidade de materiais inconsolidados da bacia do Ribeirão Samambaia (Região de São Pedro-SP)**. 2003. 167 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

FILHO, O. R. C.; SILVA, I. F.; ANDRADE, A.P.; LEPRUN, J. C. **Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no agreste de Pernambuco.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 27(9): 1363-1370, Set. 1992.

FONTES, S. B. & PEJON, O. J. **Mapeamento Geotécnico com ênfase em erosões no Município de Ouro Preto – Escala 1:5.000.** 2001. 16 p. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 2001.