



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

MAPEAMENTO DE INUNDAÇÃO URBANA UTILIZANDO MODELOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS INTEGRADO A SIG: O CASO DA BACIA DO RIO GRANJEIRO, CRATO-CE

Samuellson L. Cabral¹; José Nilson B. Campos¹; Francisco Alberto de Assis Teixeira¹;
Cleiton da Silva Silveira¹ & Wictor E. Dajtenko Lemos¹.

RESUMO – O artigo apresenta uma aplicação integrada de modelos hidrológicos, hidráulicos e sistemas de informações geográficas (SIG) para delimitar áreas inundadas por uma chuva centenária no município do Crato, no Estado do Ceará. As ferramentas computacionais empregadas foram: o HEC-HMS para a modelagem hidrológica; o HEC-RAS para a modelagem hidráulica e o HEC-GeoRAS para o SIG. Os resultados mostraram que uma parte substancial da população ribeirinha da cidade do Crato é afetada pelas inundações ocasionadas por uma chuva centenária com TR=100 anos. De modo geral, o modelo de inundação representa satisfatoriamente as áreas atingidas, evidenciando os locais de maior avanço das águas.

ABSTRACT– This article presents an integrated application of hydraulic, hydrological, and Graphic Information Systems (GIS) models to delimit flood area in the municipality of Crato, Ceará using the maximum daily precipitation recorded during the past hundred years. This analysis utilizes the following models: HEC-HMS for hydrological modeling; HEC-RAS for hydraulic modeling, and HEC-GeoRAS for GIS modeling. The results show that a substantial portion of the riverside population of Crato is flooded following maximum daily rainfall of TR=100 years. This flood modeling methodology satisfactorily represents the affected areas, locating the areas at greatest risk of inundation.

Palavras-Chave – enchentes urbanas, zonas inundáveis, modelagem hidrológica.

¹ Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Av. Humberto Monte S/N, Pici, CEP: 60525-571, e-mail: samuellsoncabral@hotmail.com

Introdução

A busca de soluções para os frequentes problemas urbanos que afetam a qualidade de vida das populações não pode prescindir, atualmente, dos conceitos de enchentes e inundações em áreas urbanas. São problemas recorrentes em várias cidades brasileiras, que quando atingem áreas densamente ocupadas, provocam prejuízos consideráveis e, em muitos casos, resultam em perdas de vidas humanas (SULEIMAN e BARBASSA, 2011).

Os sistemas de alerta de cheias utilizam a associação de modelos meteorológicos, hidrológicos e hidráulicos para reduzir impactos de grandes inundações. Por isso, considera-se de grande importância para o planejamento urbano, a modelagem e a simulação desses eventos, que ocorrem em canais de drenagem naturais ou artificiais e a análise das interações com as planícies adjacentes (RIBEIRO e LIMA, 2011).

Segundo Oliveira *et al*, (2010), o mapeamento das áreas suscetíveis a cheias é um recurso muito importante para a leitura e compreensão dos episódios de inundações, e auxilia na tomada de decisões para amenizar os impactos. Em virtude da alta capacidade de armazenamento dos computadores e das facilidades para analisar e cruzar informações, o geoprocessamento surge como uma ferramenta dinâmica capaz de conferir mais precisão aos mapeamentos e à análise espacial. A utilização dessa ferramenta permite a implantação de um sistema de informações geográficas (SIG), que reúne um conjunto de bases digitais e de bancos de dados que podem ser manipulados, com a finalidade de promover uma análise espacial, de acordo com os objetivos do usuário.

Vários autores (Oliveira et al (2010), Ribeiro & Lima (2011), Oliveira & Guasselli (2011), Gichamo et al (2012), Martin et al (2012), Haghizadeh et al (2012), Abushandi & Merkel (2013)) utilizaram modelos hidrológicos, hidráulicos e SIGs para a determinação de manchas de inundação em rios e canais urbanos, para propiciar ações dos órgãos responsáveis para reduzir os prejuízos das populações ribeirinhas.

Esse artigo tem o objetivo de determinar as áreas alagadas na bacia do Rio Granjeiro para uma cheia ocasionada por um evento de chuva diário de 162 mm, com a modelagem hidrológica e hidráulica aninhada a um SIG. Os mapas formados podem auxiliar na formulação de planos de prevenção de cheias pelo Governo Estadual e defesa civil.

Material e Métodos

Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Granjeiro está inserida na bacia hidrográfica do Rio Salgado, no município do Crato situado na Região Metropolitana do Cariri (Figura 1), localizada no extremo sul do Estado do Ceará, a aproximadamente 550 km de Fortaleza-CE e tem coordenadas de latitude $-7^{\circ}13'5''$ e longitude $-39^{\circ}24'0''$, com uma área de aproximadamente 18,5 km², altitude avariando de 400 a 950 m, e com fator de forma de cerca de 0,22 e coeficiente de compacidade de 2,01. O seu rio principal tem 9,3 km de extensão.

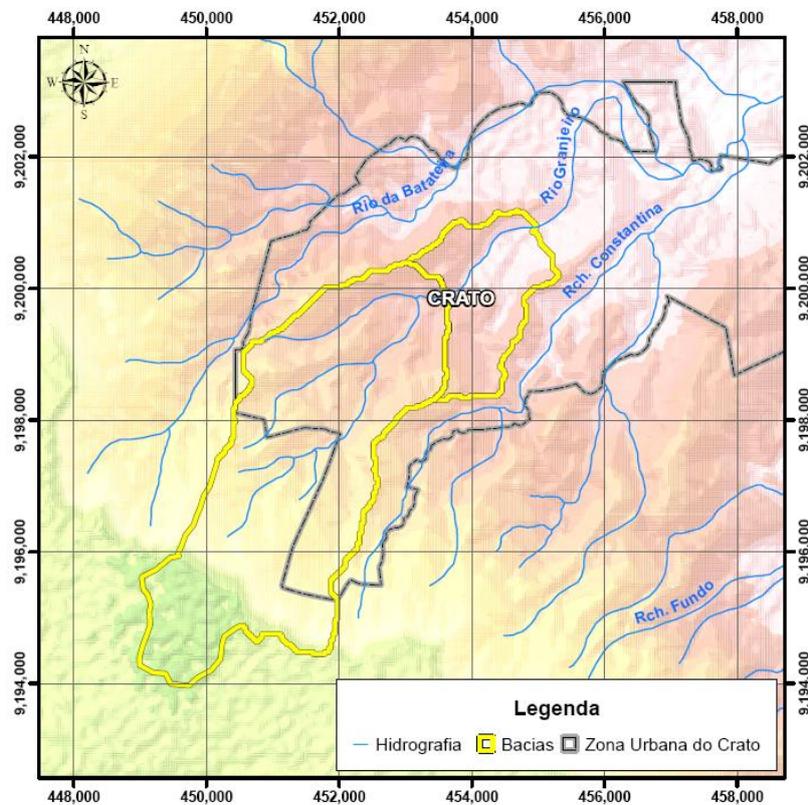


Figura 1 - Localização da área de estudo.

A precipitação média anual é de aproximadamente 1000 mm, dos quais cerca de 70% ocorre de meses de janeiro a maio (FUNCEME, 2006). A temperatura média anual é de 26 °C e a umidade relativa média do ar é de 80% na quadra chuvosa e 50% na seca. A insolação total anual média é de 2.848 h e a evapotranspiração potencial de 1.387 mm ano-1 (FUNCEME, 2006).

Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados nesse estudo foram obtidos do banco de dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), em <http://www.funceme.br>. Foi utilizada uma série de precipitações máximas diárias com durações de 100 anos (Tabela 1).

Tabela 1 – Característica do posto pluviométrico utilizado no estudo.

Código	Início	Fim	Posto	Município	Latitude	Longitude
739006	1912	2012	Crato II	Crato	-7°13'59	-39°24'00

Modelagem hidrológica: *Hydrologic Modeling System (HMS)*

Para estimar as vazões geradas pela chuva centenária, utilizou-se o programa *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)* desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América.

As áreas de contribuição foram calculadas utilizando-se a base cartográfica da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) do Ceará e dados do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, com o objetivo de extrapolar a topografia da bacia, para isso utilizou-se o software ArcGIS 9.3 extensão 3D Analyst.

Para o hietograma, utilizou-se o método dos blocos alternados, sendo os dados introduzidos no HMS pela opção *Specified Hyetograph*, com dados de precipitação informados pelo usuário (Campos, 2009). Na determinação da precipitação efetiva, processo hidrológico *Loss (perdas)*, aplicou-se o método da Curva Número (CN) desenvolvido pelo *Natural Resources Conservation Service (NRCS)* dos Estados Unidos. O método SCS-CN responde pela maior parte das características das bacias hidrográficas produtoras de escoamento, tais como tipo de solo, uso da terra, condição hidrológica e umidade antecedente condição (Mishra e Singh, 2004). Aplica-se a Eq. 1:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{para } P > I_a \text{ e } 0 \text{ nos demais casos} \quad (1)$$

onde: P_e é a chuva efetiva, P é a precipitação total, I_a é a abstração inicial e S é o máximo potencial de retenção do solo.

Para estimar S, adotou-se a recomendação do NRCS de fazer $I_a = 0,2S$. Assim, a Eq. 1 pode ser reescrita na forma da Eq.2:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2)$$

onde o parâmetro S é dado pela tabela do Curver Number (CN) como:

$$S = \frac{(1000)}{CN} - 10 \quad (3)$$

O parâmetro CN está relacionado ao tipo de uso do solo e a condições médias de umidade antecedente tanto para bacias rurais ou urbanas. Nesse estudo utilizou o tipo de solo B, para toda bacia e para a estimativa do CN foram utilizadas imagens aéreas nos principais centros urbanos, combinadas com imagens do Google Earth para CN no restante da bacia. Destaca-se, que o valor do número CN foi estimado a partir dos valores da tabela determinada pelo NRCS (1975), conforme o tipo de solo da área de estudo.

Para o processo *Transform*, que gera o hidrograma da cheia a partir do hietograma da chuva, aplicou-se o método do Hidrograma Unitário Adimensional do NRCS. O método tem como parâmetro o tempo de retardo (T_{lag}). O valor de T_{lag} é obtido pela Eq. 4.

$$T_{lag} = 0.6T_c \quad (4)$$

Onde T_c denota o tempo de concentração. Por sua vez, T_c é estimado pela Equação de Kirpich (Eq.5)

$$T_c = 0.0078x \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) \quad (5)$$

onde: L é o comprimento do rio em metros e S é a declividade do rio em %.

A Tabela 2 apresenta alguns parâmetros físicos e hidráulicos das sub-bacias estudadas, tais como: área, valor do CN, comprimento do talvegue, tempo de retardo (*lag time*), tempo de concentração e declividade média do rio.

Tabela 2 – Informações físicas e hidráulicas das sub-bacias do estudo.

Sub-bacias	Área (km ²)	CN	L (Km)	Lag Time (h)	Tc (h)	S (m/m)
Granjeiro	18,5	77	9.3	0.45	0.79	0.033

Modelagem hidráulica e SIG

Para a simulação de inundações na área de estudo foi utilizado o programa *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System* (HEC-RAS), desenvolvido pelo Corpo de Engenharia do Exército dos EUA.

As vazões máximas obtidas na modelagem hidrológica, assim como os elementos hidráulicos (rede de drenagem, seções transversais e limites da calha) foram inseridas como dados de entrada no modelo HEC-RAS. Por se tratar de um estudo de zoneamento, adotou-se o regime de escoamento permanente. O valor do coeficiente de rugosidade de Manning (n) foi selecionado por meio de imagens de satélite, complementado com visita a campo. Para o escoamento na calha do rio adotou-se, como valor inicial, $n = 0,40$ e para escoamento na planície de inundação, em ambas margens, fez-se $n = 0,35$.

Após o cálculo dos perfis da superfície da água, os resultados foram exportados para o formato SIG. Os níveis da água em cada seção foram sobrepostos ao SRTM para estimar a altura das cheias e as áreas de inundação.

As seções transversais ao longo do rio foram espaçadas de um quilômetro nos trechos fora da zona urbana e um quilômetro ao longo da área urbana.

Resultados

A chuva de projeto

A partir da análise estatística do posto pluviométrico inseridos na bacia do Rio Granjeiro, e testada às funções de distribuições de probabilidade e testes de aderência, verificou-se que as precipitações máximas foram de 162 mm, com tempo de retorno de 100 anos e duração de aproximadamente 7 horas. A Figura 2 mostra o hietograma de projeto.

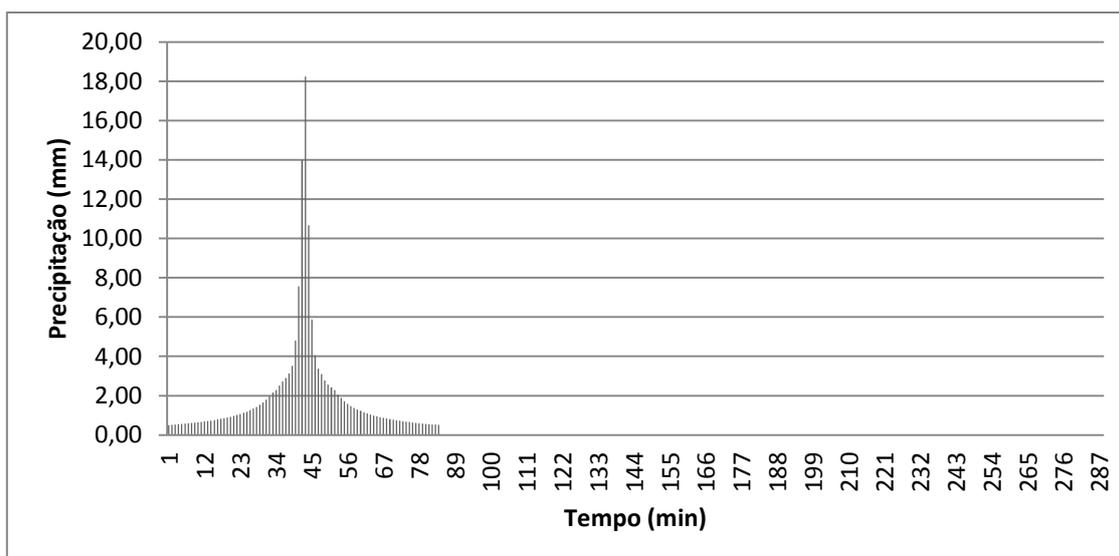


Figura 2 – Hietograma de projeto da área de estudo.

Tabela 3 – Vazão para chuva com tempo de retorno de 100 anos.

Bacia	Q_(pico) (m³/s)
Granjeiro	335,6

A Figura 3 mostra o hietograma resultante dos picos da vazão gerado pela chuva centenária da bacia estudada.

Resultados desta natureza permitem verificar que o hidrograma de projeto depende, concomitantemente, de diversas variáveis, como a precipitação, uso e tipo de solo, capacidade de infiltração do mesmo, tempo de resposta da bacia hidrográfica para uma mesma entrada de chuva, dentre outros, e como a metodologia empregada na estimativa da chuva de projeto é apenas uma das variáveis envolvidas e vem imbuída de questionamentos, desde McPherson (1958), o qual ponderou sobre o uso das relações IDF obtidas a partir de registros pluviográficos, que representam a média de chuva de determinada duração, e não a história real do evento, o que altera os resultados e avaliações dessas relações.

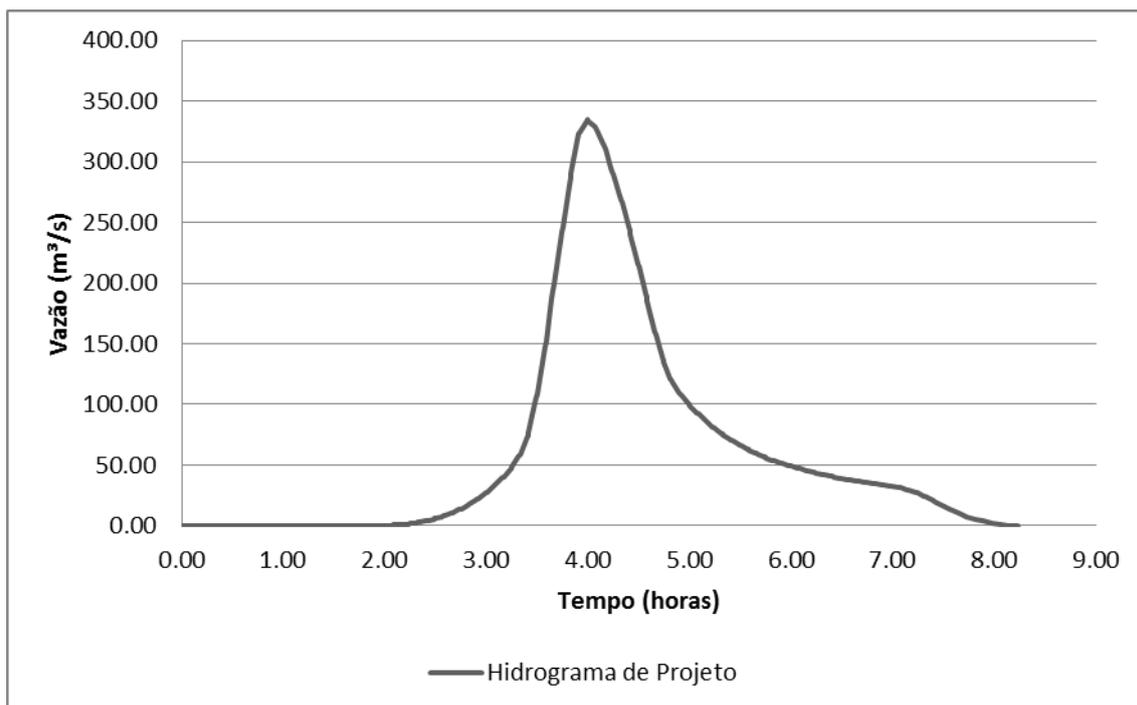


Figura 3 – Vazão de projeto da área de estudo.

As áreas de inundação

A Tabela 4 apresenta a relação entre a área do município estudado (área total e urbana) e a percentagem de área urbana afetada pelas inundações causada pelas chuvas centenárias na bacia do rio Granjeiro no Estado do Ceará.

Tabela 4 - Relação entre a área urbana e a percentagem de áreas urbanas inundadas.

Municípios	Área Total (Km²)	Área Urbana (Km²)	Área Inundada (Km²)	Área Urbana Inundada (%)
Crato	1158	100	6,8	18,9

A Figura 4 mostra a distribuição espacial da inundação com $T_r = 100$ anos no município do Crato, com grande área urbana atingida pela inundação, chegando na cota 43,5m.

Percebe-se que predomina o uso desordenado das áreas ribeirinhas em todas as cidades do estudo, ficando essas áreas mais vulneráveis as inundações em toda bacia.

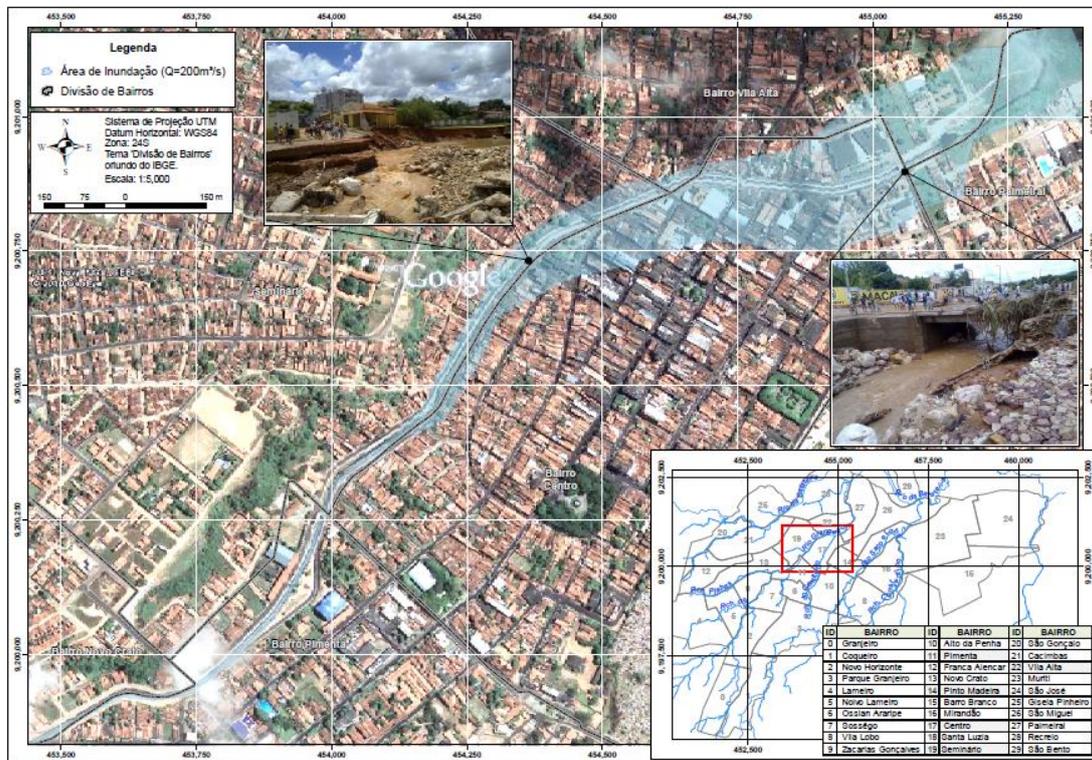


Figura 4 – Espacialização da área inundável do município do Crato.

Outro fator agravante é a falta de áreas vegetadas ao longo do rio Granjeiro, aumentando a vazão de pico, devido à falta da mata ciliar em quase toda bacia, assim como a impermeabilização do solo, devido à urbanização desordenada do município.

CONCLUSÕES

A integração entre a modelagem hidrológica, hidráulica e o SIG mostrou que é possível desenvolver uma metodologia confiável nas bacias urbanas, com base em dados digitais, imagens de satélites e uma boa rede de observações de campo.

O modelo hidráulico representou de forma satisfatória a mancha de inundação com a chuva centenária no município do Crato, indicando ser uma ferramenta promissora para subsidiar o planejamento urbano e para alertar e prevenir a cidade contra cheias.

A calibração da modelagem hidráulica foi bem sucedida, quando se relaciona o coeficiente de Manning e as marcas de cheias nos centros urbanos, sendo uma forma confiável de verificação de outros eventos de cheias.

As informações obtidas revelam a vulnerabilidade à ocorrência de inundações em determinados locais da área de estudo, especialmente em áreas densamente urbanizadas, o que representa um sério risco a segurança da população e das construções nestes locais.

BIBLIOGRAFIA

- ABUSHANDI. E & MERKEL. B. Modelling Rainfall Runoff Relations Using HEC-HMS and IHACRES for a Single Rain Event in an Arid Region of Jordan Water Resource Manage 2013.
- GICHAMO, Z. G., POPESCU, I., JONOSKI, A., AND SOLOMATINE, D. P. River Cross Section Extraction from ASTER Global DEM for Flood Modeling, Environ. Modell. Softw., 31, 37–46, 2012.
- HAGHIZADEH, A., SHUI, L. T., MIRZAEI, M., MEMARIAN, H. Incorporation of GIS Based Program into Hydraulic Model for Water Level Modeling on River Basin. Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 25-31.
- MARTIN. O., RUGUMAYO, A. & OVCHAROVICHOVA. J. APPLICATION OF HEC HMS/RAS AND GIS TOOLS IN FLOOD MODELING: A CASE STUDY FOR RIVER SIRONKO – UGANDA. G.J. E.D.T., Vol. 1(2) 2012:19-31
- OLIVEIRA, G.G, SALDANHA, D.L e GUASSELLI, L. A, ESPACIALIZAÇÃO E ANÁLISE DAS INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAÍRS, Geociências, v. 29, n. 3, p. 413-427, 2010.
- OLIVEIRA. G.G ; GUASSELLI. L. A. Relação entre a Suscetibilidade a Inundações e a Falta de Capacidade nos Condutos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.1 Jan/Mar 2011, 05-15
- RIBEIRO, C.B. M, LIMA, R.N.S. SIMULAÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS A PARTIR DA INTEGRAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO À MODELAGEM HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA. Revista Geografia v.2, n.1, p.1-9, 2011.
- SULEIMAN, H. C E BARBASSA, A.P. MAPEAMENTO PRELIMINAR DE ÁREAS URBANAS DE INUNDAÇÃO. Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal) ,15 (2): 51 - 58, 2005.