

APLICAÇÃO DE UM MODELO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO DISTRIBUÍDO À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAPAMA-PE

Celso Augusto Guimarães Santos¹; Richarde Marques da Silva² & Iltonio Alves Nitão³

Resumo – a precipitação em bacias hidrográficas no Nordeste do Brasil apresenta uma grande variabilidade espacial e conseqüentemente essa variação influencia diretamente no escoamento superficial e na produção de sedimentos. Assim, o presente estudo busca descrever os resultados do escoamento superficial e erosão do solo obtido através do modelo hidrossedimentológico KINEROS à Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama, em Pernambuco. A aplicação do modelo abrangeu diversas etapas, tais como: (a) seleção dos dados de precipitação; (b) calibração dos parâmetros físicos da bacia; e (c) discretização da bacia em planos e canais. Os parâmetros usados nestas simulações podem ser considerados como uma primeira estimativa para seus valores. Entretanto, os resultados mostraram que o modelo KINEROS pode ser considerado também uma ferramenta promissora para a simulação dos processos de escoamento superficial e erosão na Bacia do Rio Pirapama e, possivelmente, de grande valia no acoplamento de modelos de previsões climatológicas e hidrológicas.

Abstract – the precipitation in northeastern Brazil presents great space variability and consequently this variation influences directly on the surface flow and on the sediment yield. Thus, the present study intends to describe the results of the surface flow and soil erosion obtained through the runoff-erosion model KINEROS to the Pirapama River Basin, in Pernambuco state. The application of the model enclosed diverse stages, such as: (a) selection of the precipitation data; (b) calibration of the basin physical parameters; and (c) discretization of the basin in planes and channels. The parameters used in these simulations could be considered as a first estimate for their values. However, the results had shown that the KINEROS model could be considered also a promising tool for the simulation of the runoff and erosion processes in the Pirapama River Basin and, possibly, of great value in the coupling of hydrologic and climatologic forecast models.

Palavras-chave – modelo; vazão; erosão; bacia Pirapama.

¹ Professor, DTCC/CT/LARHENA Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 58059-900 João Pessoa - PB Telefone: (83)216-7684 Ramal 27, Fax (83)216-7684 Ramal 23 – celso@ct.ufpb.br

² Aluno do PPGEU - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UFPB – richarde@lrh.ct.ufpb.br

³ Aluno do Curso de Engenharia Civil da UFPB e Bolsista de Iniciação Científica CNPq/UFPB – iltonio@lrh.ct.ufpb.br

INTRODUÇÃO

O presente estudo tem como objetivo a avaliação do modelo KINEROS 2 (*Kinematic Runoff and Erosion Model*) na simulação do escoamento superficial e erosão numa bacia com área superior a 80 km² e localizada em zona úmida do Nordeste do Brasil. Neste estudo a Bacia Hidrográfica Pirapama (**Figura 1**), localizada no Estado de Pernambuco, mais precisamente na parte sul-oriental do Estado de Pernambuco a aproximadamente 8° 22' de Latitude Sul e 35° 00' de Longitude Oeste, foi escolhida por drenar uma superfície com cerca de 600 km², ocupando um total de 0,61% da superfície pernambucana (98.937,80 km²). O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama (COBH-Pirapama) foi instalado em 1998 e a mesma vem sendo alvo de estudos pluviométricos e fluviométricos desde então.

O Rio Pirapama nasce no município de Pombos (Mesorregião do Agreste Pernambucano), a cerca de 450 metros de altitude e percorre aproximadamente 80 km até seu exutório. A bacia ocupa parte dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Moreno, Escada, Vitória de Santo Antão e Pombos, sendo, os quatros primeiros inseridos na Região Metropolitana do Recife. A Bacia Pirapama é formada por vários afluentes, onde se destacam, por suas dimensões, o rio Gurjaú e os riachos dos Macacos, Cajabuçu e Arandu, ambos na margem esquerda; e os riachos Santa Amélia, Utinga de Cima e Camaçari, na margem direita. Essa rede hidrográfica limita-se ao norte com as bacias dos rios Jaboatão e Tapacurá, a oeste com a bacia do rio Ipojuca, ao sul com as bacias dos rios Massangana e Ipojuca e a leste com o Oceano Atlântico (CPRH, 2000).

As pequenas bacias hidrográficas (com área inferior a 800 km²) da região oriental do Nordeste encontram-se inseridas em uma zona classificada como tropical úmida com duas estações distintas e estão localizadas sobre um embasamento sedimentar.

Antigamente, o desenvolvimento de áreas urbanas em uma bacia hidrográfica, era realizado com pouco ou nenhum planejamento, pois visava o mínimo custo e o máximo benefício para a população usuária dos recursos hídricos da região. Nessa perspectiva, vários centros urbanos se desenvolveram, muitas vezes despreocupados com a disponibilidade dos mananciais hídricos e ao mesmo tempo com a não preservação do meio ambiente.

Desta forma, um dos fatos relevantes que propuseram a realização deste estudo, é que no ponto de concentração da foz da Bacia Pirapama, encontra-se um dos maiores aglomerados urbanos do Brasil, a região Metropolitana do Recife, constituída pelos municípios de Paulista, Igarassu, Abreu e Lima, Recife, Jaboatão dos Guararapes, Olinda e São Lourenço da Mata. Toda a área abrangida por essa bacia, possui atualmente uma população total de aproximadamente 3.356.082 habitantes. Observa-se também que há um gradativo crescimento populacional nessa região nas

últimas décadas. Essa (re)evolução intensificou o surgimento de diversos problemas na infraestrutura urbana de todos os municípios elencados acima. Deve-se destacar que, dentre o processo problemático da ampliação do perímetro urbano desta região, as ocupações de baixadas e o surgimento de áreas aterradas são típicos indícios do péssimo planejamento urbano dos centros urbanos brasileiros. O crescimento populacional acarretou um “inchaço” demográfico levando a Região Metropolitana do Recife a sofrer com o abastecimento de água potável, uma vez que, os reservatórios locais, devido ao fato de anomalias nas precipitações, somado ao excedente número de habitantes, não conseguiram atender as necessidades hídricas da população local. A dependência hidrográfica dos rios abastecedores levou a um racionamento hidrológico alarmante, verificado nos últimos anos.

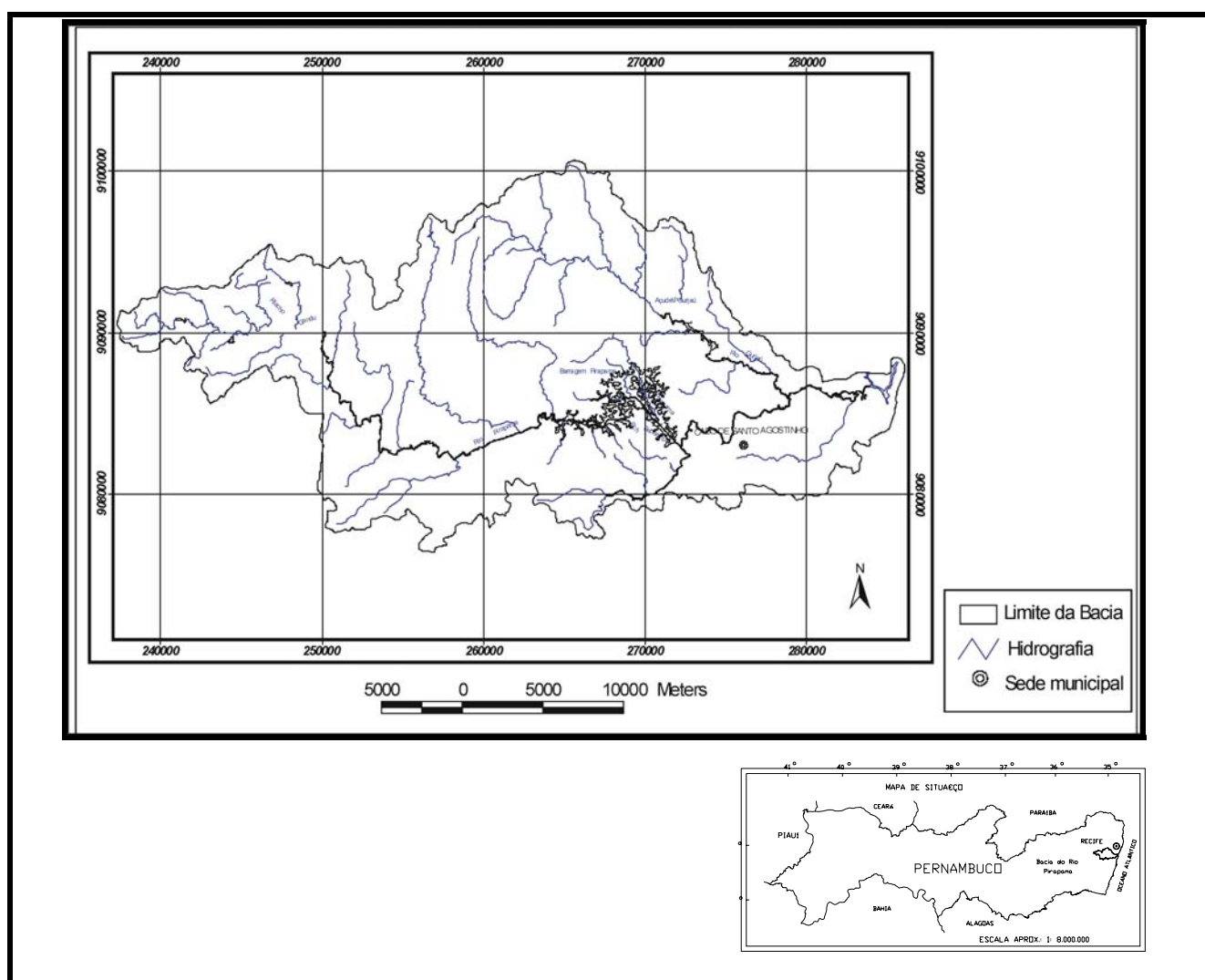


Figura 1: Localização da Bacia Pirapama e sua Hidrografia

Tecendo comentários a respeito da importância hídrica dos rios para as atividades humanas, Silveira (1997) destaca o importante papel do conhecimento dos processos de evaporação dos mananciais superficiais líquidos e dos solos, bem como o verificado na cobertura vegetal numa

região. No que tange a medição da bacia hidrográfica, segundo seu porte hídrico, Pompêo e Righetto (1983) enfatizam que nas bacias de pequeno porte, como é o caso de nossa área de estudo, as chuvas mais importantes duram em média entre 3 e 4 horas.

No que tange uma análise mais aprofundada e detalhada das interferências antrópicas no meio ambiente, bem como suas respectivas conseqüências para o mesmo, atualmente é cada vez mais nítido e indispensável à utilização de ferramentas computacionais de simulação dos vários componentes do ciclo hidrológico, dos quais a precipitação, a vazão e a erosão destacam-se no âmbito da hidrologia.

Nos dias atuais os modelos hidrológicos têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados de maneira dinâmica e eficaz, para suprir as necessidades de se entender mais profundamente como se comportam estes componentes diante dos fenômenos hidrológicos numa determinada bacia. A utilização do modelo KINEROS na análise dos componentes hidrológicos já foi concebida em diversos trabalhos científicos, todavia, somente para áreas de estudo com dimensão inferior a 300 km². Diante de tal circunstância, esta pesquisa busca avaliar o resultado da aplicação do modelo KINEROS 2 na simulação do escoamento e erosão na Bacia do Rio Pirapama.

MODELOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS

A partir do desenvolvimento técnico-científico na área de computadores, tornou-se possível, e cada vez mais comum e viável o uso dos mesmos na quantificação e representação no que tange os dados hidrossedimentológicos, como parte essencial no estudo de recursos hídricos. A utilização de modelos hidrológicos computacionais, que retratam fenômenos da natureza tão complexos do ciclo hidrológico como a precipitação, a infiltração, a evaporação, a erosão e o escoamento superficial, torna-se imprescindível na hidrologia (TUCCI, 1997).

Porto (1995) enfatiza que se deve destacar e reconhecer que os dados obtidos durante a análise usando modelos serão sempre aproximados, ou seja, estimados, devido a fatores como as incertezas hidrológicas, às simplificações dos métodos utilizados e aos critérios utilizados no estudo.

Existem três categorias de modelos de erosão: os empíricos, os conceituais ou empírico-conceituais e os de base física. Os modelos empíricos são baseados em dados observados, principalmente em parcelas com declividades uniformes e são basicamente de natureza estatística. Sua limitação é que para a sua adaptação a um novo ambiente necessita-se de mais investimentos e mais tempo para se desenvolver uma nova base de dados (SANTOS et al., 2000). Já os modelos conceituais estão em algum lugar entre os modelos empíricos e os de base física.

A base física dos modelos físicos pode, principalmente, superar muitas das deficiências dos modelos empíricos e conceituais. Por isso, o modelo hidrossedimentológico de base física chamado

KINEROS foi aplicado neste trabalho. Desde 1970, a aproximação cinemática tem sido bastante usada para simular o movimento do excesso de chuva sobre a superfície e através de pequenos canais. Este modelo foi aplicado em redes arbitrárias de planos e canais num modelo chamado KINGEN de Rovey et al. (1977). Este modelo usou um outro modelo de infiltração para simular a vazão, e era usado para estudos de vazão rural ou urbanas usando chuva de projeto. Desde então o modelo vem sendo modificado, com inclusão de novos componentes, e.g., simulação da erosão e transporte de sedimentos, revisão do componente de infiltração e inclusão de um elemento de empoçamento; e assim, o modelo foi chamado KINEROS. Atualmente, este modelo é chamado KINEROS 2 e de acordo com Santos et al. (2000) inclui novas características, tais como: (a) o algoritmo de infiltração abrange o perfil do solo com duas camadas e incorpora um novo método baseado nas características físicas do solo, com a finalidade de redistribuir a água no solo durante os períodos sem chuva; e (b) o solo e os sedimentos são caracterizados por uma distribuição de até cinco classes de tamanho de sedimento.

O MODELO KINEROS 2

O Modelo de Infiltração do Solo

A formulação do modelo permite uma aproximação física para a redistribuição da água no solo, incluindo a capacidade de recuperação de infiltração durante as estiagens, e é um modelo que determina o percentual de infiltração depois desta estiagem. O modelo de infiltração descreve a capacidade de infiltração f_c com uma função da profundidade infiltrada I e necessita de quatro parâmetros básicos para descrever as propriedades de infiltração, que são o de condutividade hidráulica efetiva saturada K_s (m/s), a capilaridade integral G (m), a porosidade ϕ , e o índice de distribuição dos tamanhos dos poros λ . O parâmetro C_v é opcional, o qual descreve a variação randômica no espaço das propriedades hidráulicas do solo. Também, existe uma variável relacionada ao evento que é a saturação relativa inicial da camada superior do solo, igual a θ_i/ϕ , no qual θ_i é a umidade inicial do solo. O modelo geral para a infiltrabilidade f_c (m/s) é dada, como uma função de profundidade infiltrada I (m), por:

$$f_c = K_s \left[1 + \frac{\alpha}{e^{\alpha I/B} - 1} \right] \quad (1)$$

onde B é $(G + h)(\theta_s - \theta_i)$, combinando os efeitos da franja capilar, G , altura do escoamento, h (m), e a capacidade de armazenamento unitária, $\Delta\theta = (\theta_s - \theta_i)$, no qual θ_s é o umidade de saturação do solo. O parâmetro α representa o tipo de solo; i.e, próximo de 0 para areia, neste caso a equação (1) se aproxima da equação de Green-Ampt; e α é próximo de 1 para um solo franco misto, em tal caso a equação (1) representa a equação de infiltração de Smith-Parlange. Neste modelo existe uma

redistribuição de água no solo, ele considera que existindo uma estiagem prolongada durante o evento de chuva o solo deve secar. O método de redistribuição/reinfiltração usado no modelo é descrito em Smith et al.(1993), e também em Corradini et al. (1994).

Escoamento Superficial

O escoamento superficial é o resultado da interação da precipitação com a bacia hidrográfica. A modelagem do escoamento superficial em bacias é baseada na resolução de equações diferenciais parciais, na qual descrevem o fluxo e a profundidade do nível da água como sendo funções do tempo e do espaço (LOPES, 2003). Estas equações são formadas pela: (1) equação de continuidade, sob a seguinte forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (2)$$

onde Q é a vazão (m^3/s), A é a área da seção transversal do canal (m^2), q é a entrada lateral do escoamento (m^2/s), x é a coordenada espacial (m) e t é a coordenada temporal (s). A equação da quantidade de movimento apresenta a seguinte forma:

$$\frac{\partial(AC_s)}{\partial t} + \frac{\partial(QC_s)}{\partial x} - e(x,t) = q_s(x,t) \quad (3)$$

onde y é a profundidade do escoamento (m), g é a aceleração da gravidade, S_0 é a declividade do fundo do canal e S_f é a declividade da linha de energia, e as outras variáveis já foram mencionadas anteriormente.

Escoamento no Canal

O escoamento superficial pode ser observado como um processo de escoamento unidimensional no qual o fluxo é relacionado a uma área de armazenamento unitária por uma relação exponencial simples:

$$Q = ah^m \quad (4)$$

onde Q é a descarga por unidade de comprimento (m^2/s), e h é o armazenamento de água por unidade de área (m). Os parâmetros a e m são relacionados à declividade, à rugosidade e ao regime do escoamento, e são dadas por $a = S^{1/2}/n$ e $m = 5/3$ onde S é a declividade, n é o coeficiente de rugosidade de Manning. A equação de continuidade para um plano é dada por:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x,t) \quad (5)$$

onde t é o tempo (s), x é a distância na direção da declividade (m), e $q(x,t)$ é a taxa de vazão afluyente lateral (m/s). Para o escoamento superficial, a equação resultante é resolvida usando um método das

diferenças finitas de quatro-pontos. A equação de continuidade para um canal com vazão afluyente lateral é dada por:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_c(x, t) \quad (6)$$

onde A é a área da seção transversal (m^2), Q é descarga no canal (m^3/s), e $q_c(x, t)$ é a rede de vazão afluyente por comprimento de canal (m^2/s). A aproximação cinemática é incorporada na relação entre a descarga do canal e a área da seção transversal tal que:

$$Q = aR^{m-1}A \quad (7)$$

onde R é o raio hidráulico (m). Se for usada a equação de Manning, $a = S^{1/2}/n$ e $m = 5/3$. As equações cinemáticas para canais são resolvidas por uma técnica implícita de quatro-pontos similar àquela para escoamento superficial.

Erosão nos Planos e Canais

A equação geral usada para descrever a dinâmica dos sedimentos em qualquer pontos ao longo do escoamento superficial é uma equação de balanço de massa similar àquela para o escoamento cinemático da água:

$$\frac{\partial(AC_s)}{\partial t} + \frac{\partial(QC_s)}{\partial x} - e(x, t) = q_s(x, t) \quad (8)$$

onde C_s é a concentração de sedimentos (m^3/m^3), Q é a taxa vazão (m^3/s), A é a área da seção transversal do escoamento (m^2), e é a taxa de erosão do solo do leito (m^2/s), q_s é a taxa de entrada lateral de sedimentos nos canais (m^2/s). Para os planos, e é assumida como sendo compostas de dois principais componentes, i.e., produção de solo erodido pelos impactos das gotas de chuva sobre o solo descoberto, e erosão hidráulica (ou deposição) devido à interação entre a força de cisalhamento da água no solo solto do leito e a tendência das partículas de solo se sedimentarem sob a força da gravidade. A taxa total de erosão é um somatório da taxa de erosão pelo impacto das gotas de chuva e_s e a taxa de erosão hidráulica e_h :

$$e = e_s + e_h \quad (9)$$

A taxa de erosão pelo impacto da chuva é estimada a seguir:

$$e_s = c_f e^{-c_h h} r^2 \quad (10)$$

no qual r é a chuva efetiva (m/s), c_f é uma constante relacionada ao solo e às propriedades da superfície, e $e^{-c_h h}$ é um fator de redução representando a redução na erosão causada pelo aumento da altura da água. O parâmetro c_h representa a efetividade do molhamento da água superficial, assumido como sendo igual a 364,0. A taxa de erosão hidráulica (e_h) é estimada como sendo

linearmente dependente da diferença entre a concentração de equilíbrio e a concentração de sedimento corrente e é dada por:

$$e_h = c_g (C_m - C_s) A \quad (11)$$

onde, C_m é a concentração na capacidade de transporte em equilíbrio, $C_s = C_s(x,t)$ é a concentração de sedimento local corrente, e c_g é um coeficiente de taxa de transferência (s^{-1}), que é computado por:

$$c_g = Co \frac{v_s}{h} \quad \text{se } C_s \leq C_m \text{ (erosão)} \quad \text{ou} \quad c_g = \frac{v_s}{h} \quad \text{se } C_s > C_m \text{ (deposição)} \quad (12)$$

onde Co é o coeficiente de coesão do solo, e v_s é a velocidade da queda da partícula (m/s). O modelo usa a relação da capacidade de transporte de Engelund e Hansen (1967), e a velocidade da partícula é calculada pela seguinte equação:

$$v_s^2 = \frac{4}{3} \frac{g(\rho_s - 1)d}{C_D} \quad (13)$$

no qual g é a aceleração gravitacional (m/s^2), ρ_s é a densidade relativa do sedimento, igual a 2,65, d é o diâmetro do sedimento (m), e C_D é coeficiente de resistência da partícula. O coeficiente de resistência da partícula é uma função do número de Reynolds:

$$C_D = \frac{24}{R_n} + \frac{3}{\sqrt{R_n}} + 0.34 \quad (14)$$

onde R_n é o número de Reynolds, dado por $R_n = v_s d / \nu$, no qual ν é a viscosidade cinemática da água (m^2/s). A velocidade de uma partícula é resolvida na equação (11), e (12) para v_s . As equações de erosão citadas são aplicadas para cada um dos cinco tamanhos de classes das partículas, que são usadas para descrever um solo quando existe uma variação do tamanho das partículas. As equações (8–14) são resolvidas numericamente para cada espaço de tempo usado nas equações de escoamento, e para cada classe de tamanho de partícula.

CALIBRAÇÃO E RESULTADOS

Neste estudo a parte referente aos resultados restringiu-se apenas aos dados pluviométricos e fluviométricos da estação Ponte PE-35, localizada a aproximadamente 35° 15' 53'' de Longitude Oeste e a 8° 14' 32'' de Latitude Sul. A partir desta estação foram gerados os elementos que compõem a nossa área de estudo, sendo oito planos e quatro canais, totalizando uma área de 82,86 km² (**Tabela 1**). A disposição dos elementos da bacia podem ser visualizada no esquema da **Figura 5**. Deve-se levar em consideração também que, outros estudos direcionados a essa linha de pesquisa já estão sendo desenvolvidos para toda a bacia.

No que tange a aplicação propriamente dita do modelo KINEROS 2 à Bacia Pirapama, deve-se salientar que vários parâmetros foram calibrados e assumiram os seguintes valores: $G = 800$ mm, $\phi = 0,32$, $C_v = 0,9$. Outros parâmetros foram assumidos de acordo com a característica da bacia: coeficiente de *Manning* (1,0 para os planos e 0,2 para os canais), interceptação (2 mm), cobertura por copas de árvores, *Canopy*, (60%), conteúdo de grandes rochas, *ROCK*, (3%), condutividade hidráulica saturada efetiva ($K_s = 3,2$ mm/h). O grau inicial de saturação do solo, dado por θ_i/ϕ , foi otimizado por tentativa e erro até os hidrogramas observados e calculados se aproximarem, e os parâmetros referentes à erosão pelo impacto da chuva nos planos c_f e o coeficiente de coesão do solo C_o foram selecionados como $c_f = 50$ e $C_o = 0,5$ para se ter uma idéia da potencialidade de erosão da região.

O hidrograma obtido através da plotagem dos dados gerados mostrou que os picos de vazão da bacia foram da ordem de 2,71 mm/hr, para um total acumulado de 22,45 mm/hr (**Figura 2**). Como pode ser observado na **Figura 3**, o pico da descarga de sedimentos com os dados gerados pelo modelo foi de 8.074,38 kg/s. Deve-se ressaltar que cada partícula de sedimento foi computada para quatro classes com os seguintes tamanhos (0,5 mm, 0,25 mm, 0,05 mm, 0,005 mm).

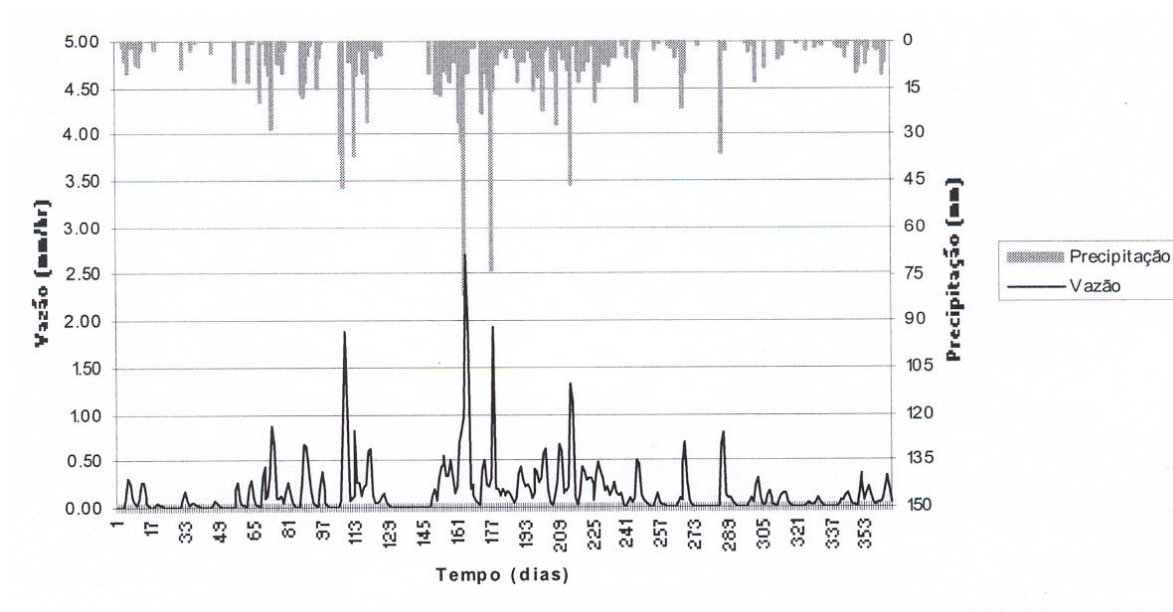


Figura 2: Hidrograma com os dados calibrados

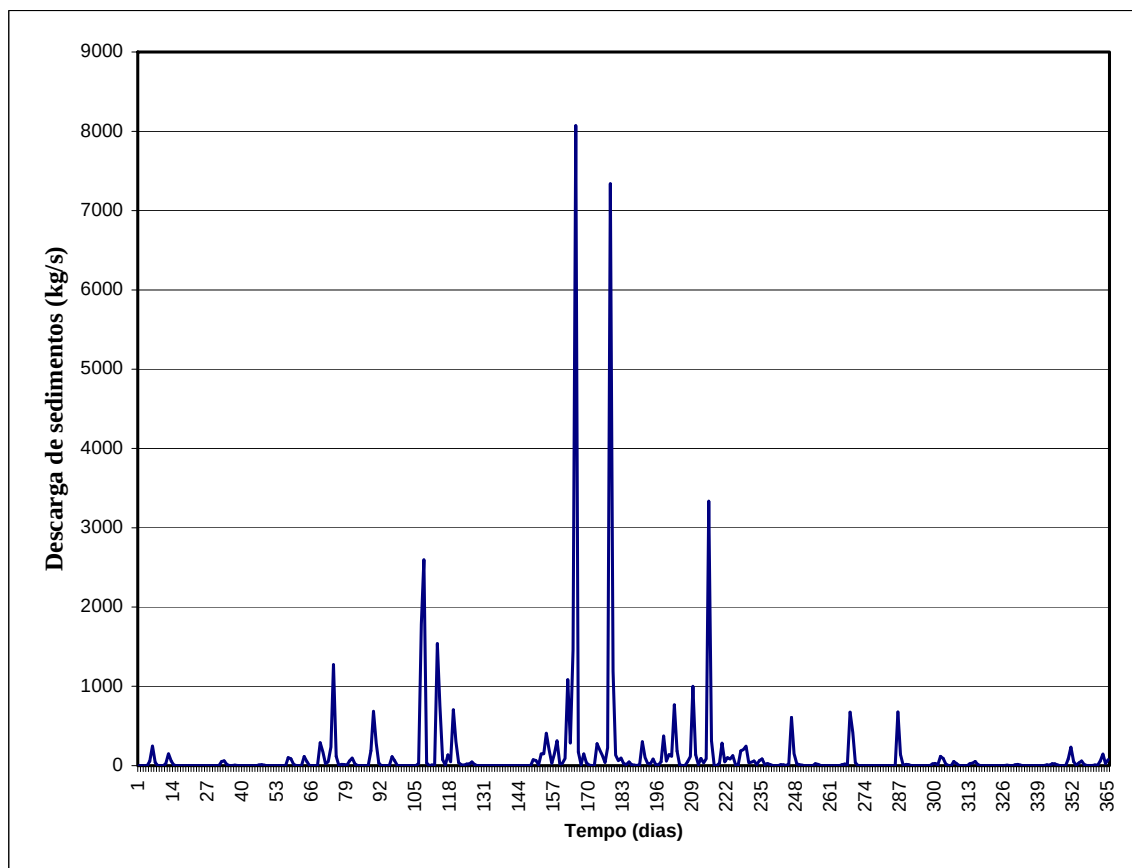


Figura 3: Sedimentograma com os dados calibrados.

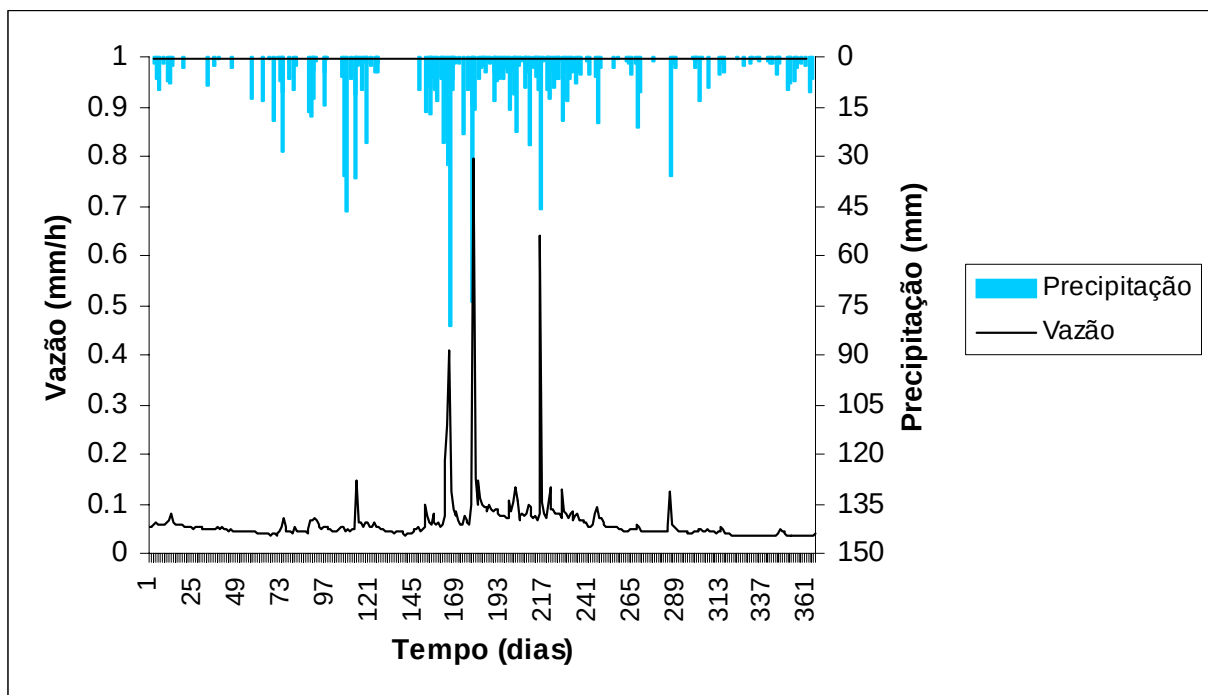


Figura 4: Hidrograma e ietograma com os dados observado

Tabela 1. Geometria da Bacia do Rio Pirapama

Elemento	Área (km ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade
1	7,142	981	7.287,05	-
2	7,902	1084	7.287,05	-
3	-	7.287,05	-	0,0548
4	15,618	1.765	8.851,09	-
5	18,476	2.087	8.851,09	-
6	-	8.851,09	-	0,0316
7	4,684	618	7.584,42	-
8	5,881	775	7.584,42	-
9	-	7.584,42	-	0,0395
10	15,781	3.522	4.480.69	-
11	7,380	1.647	4.480.69	-
12	-	4.480,69	-	0,0982

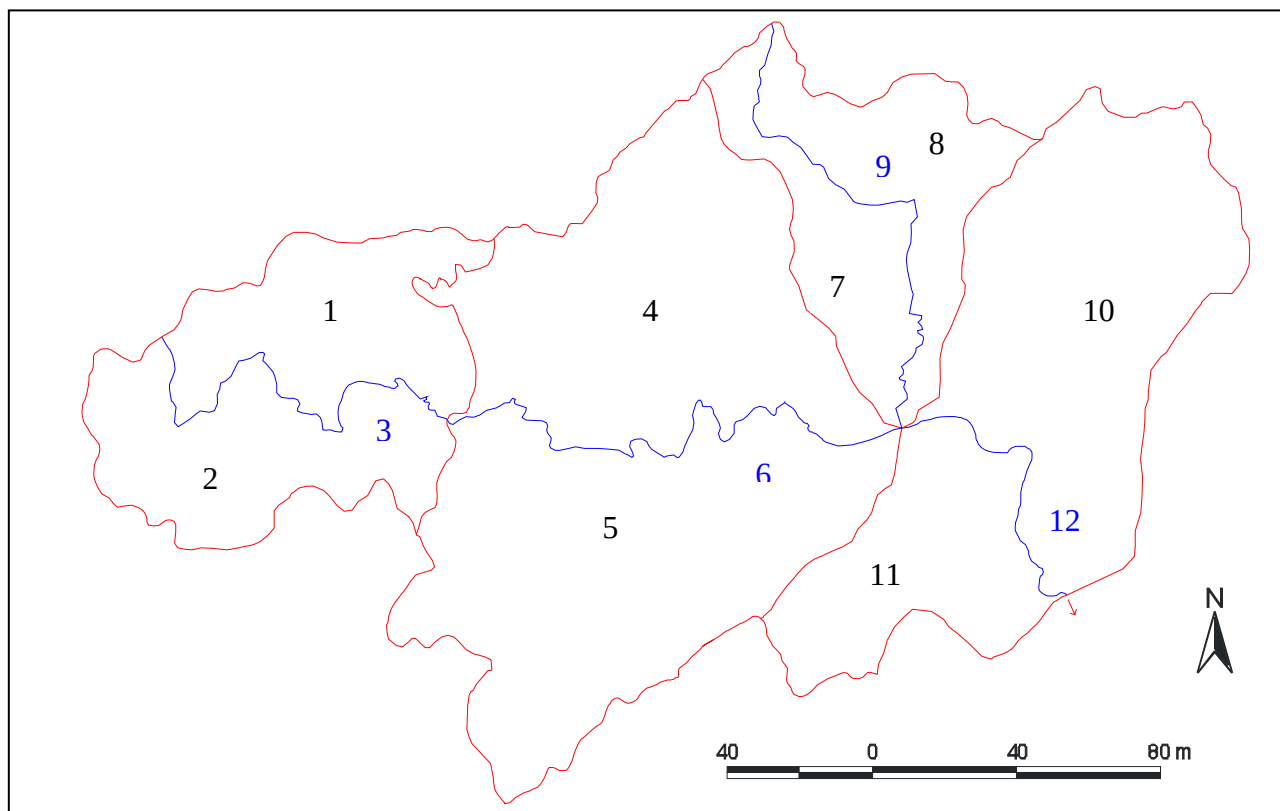


Figura 4: Determinação dos planos e canais na discretização da Bacia Pirapama.

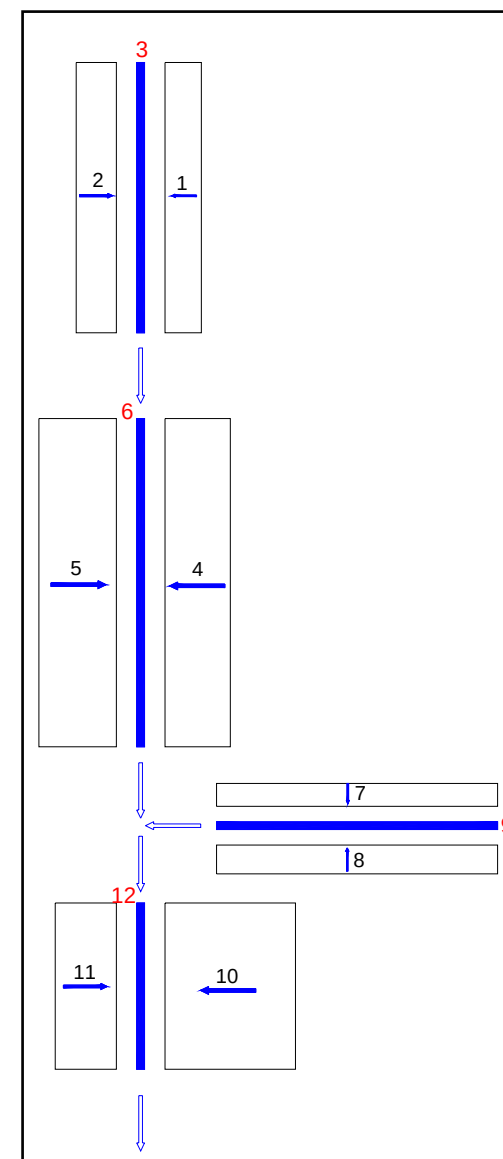


Figura 5: Discretização da Bacia Pirapama em planos e canais.

CONCLUSÕES

A pesquisa veio constatar que a aplicação do Modelo KINEROS 2 é viável e pode ser usado na simulação de eventos contínuos de chuva-vazão em bacias hidrográficas com mais de 80 km². Neste trabalho, ele foi aplicado na Bacia do Rio Pirapama, localizada no Estado de Pernambuco, Brasil. Reforça também a necessidade de se manter estações de medições de dados hidrológicos no Nordeste brasileiro inclusive no litoral, pois tais dados são de extrema importância para a calibração e validação de modelos como este: modelos de base física.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Carl Unkrich do *Southwest Watershed Research Center* – EUA, por fornecer o programa fonte utilizado no estudo e à ANA (Agência Nacional de Águas) pelos dados observados. Os autores são apoiados com recursos e bolsas do CNPq e FINEP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CORRADINI, C.; MELONE, F.; SMITH, R.E.. **Modeling infiltration during complex rainfall sequences**. Water Resources Research, 1994. 30(10), 2777-2784.
- CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. **Agenda 21: Bacia do Pirapama – Zoneamento Ecológico-Econômico**. Recife: CPRH/DFID, 2000.
- ENGELUND, F.; HANSEN, E.. A monograph on sediment transport in alluvial streams, Teknisk Forlag. Copenhagen, 1967. 62 p.
- LOPES, W. T. A.. **Efeitos de escala na modelagem hidrossedimentológica na região semi-árida da Paraíba**. Campina Grande: s.e., 2003. (Dissertação de Mestrado – UFCG/CCT), 174 p.
- POMPÊO, C. A.; RIGHETTO, A. M.. **Modelação da precipitação diária e horária para a Bacia do Rio Jacaré-Guaçu-SP**. Blumenau-SC. Anais... V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. Revista Brasileira de Engenharia. Vol. 1 (Potencialidade Hídrica) de 13 a 18 de novembro de 1983. Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos (ABHRH).
- PORTO, R. L. L.. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. de. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/ Ed. Da Universidade/UFRGS, 1995. cap. 4. p. 107-161.
- ROVEY, E.W.; WOOLHISER, D.A.; SMITH, R.E.: **A distributed kinematic model of upland watershed**. *Hydrology Paper* 93, 52 pp. Colorado State University, Fort Collins, 1977.
- SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; LOPES, W. T. A.. **Sediment yield in Ishite watershed using a runoff-erosion kinematic model**. , 2000

- SILVEIRA, André L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, Carlos E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. cap. 2 p. 35-55.
- SMITH, R.E.; CORRADINI, C.; MELONE, F.. **Modeling infiltration for multistorm runoff events**. Water Resources Research, 1993. 29(1), 133-144.
- TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997.