

APLICAÇÃO DAS ISÓCRONAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ACRE COMO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CHEIAS

Paulo César de Godoy Junior^{1*} & *Ana Cristina Strava Correa*² & *Thiago de Lima Martarole*³

Resumo – A bacia do Rio Acre vem sofrendo com repentinos e repeditos eventos de cheias extremas. Sete, dos últimos 10 anos, superaram a cota de transbordamento definida em 14 m (cota relativa à régua) para a cidade de Rio Branco, segundo a série histórica da estação fluviométrica local. A resposta desses eventos é muito rápida e atinge as áreas urbanas que margeiam o rio Acre, devido, principalmente, à geomorfologia da bacia aliada à grande pluviosidade da região amazônica. Nessa pesquisa, foram determinadas as isócronas como ferramenta de monitoramento e gestão das cheias para a Defesa Civil. As isócronas foram definidas de forma a segmentar o território da bacia de 6 em 6 horas, totalizando 96h para os pontos mais distantes do exutório, estabelecido em Rio Branco. A partir do tratamento geoestatístico por krigagem dos pontos, estendeu-se o conhecimento dos tempos de viagem das ondas de cheia para qualquer ponto da bacia onde possam ser identificadas as chuvas. A validação se deu com a aplicação de chuvas registradas na missão GPM/NASA.

Palavras-Chave – Isócronas, Bacia do Rio Acre, extremos hidrológicos.

ACRE'S BASIN ISOCHRONS APPLIED AS FLOOD MONITORING SYSTEM

Abstract – Acre's basin has suffered frequent and rapid flood events. Seven of ten past years Rio Acre's level surpassed the overflow limit of 14m (relative measure at gauge station) at Rio Branco urban center, registered at the local gauge historical data. The rapid response to these flood events is due to the basin geomorphology linked to high rain volumes of the Amazonian region. This research aimed to generate the isochrones map as a tool for monitor and management for Civil Defense. The isochrones were plotted at 6 hours intervals until de maximum of 96h from the outfall at Rio Branco City. Applying kriging to the isochrones points the knowledge of flood time travel was extended through all the basin area where rain can be spotted. The validation was done using GPM/NASA rain registers.

Keywords – isochrones, Rio Acre basin, hydrological extremes events.

INTRODUÇÃO

A região onde se encontra a bacia hidrográfica do Rio Acre possui a maior densidade populacional do estado sendo 435.499 habitantes (IBGE, 2014), que segundo Correa, et al. (2015) corresponde ao total de aproximadamente 55% de toda a população do estado, concentrada em apenas 18% do território acreano.

A bacia hidrográfica do Rio Acre de acordo com Latuf (2011) é localizada na Amazônia Sul-Occidental (Figura 1), sendo essa região mais conhecida como a tríplice fronteira entre Brasil, Bolívia e Peru, com área aproximada de 35.967,5 km². Quanto ao domínio político-administrativo, 87,5%

¹ Sistema de Proteção da Amazônia, paulocesardegodoy@hotmail.com.

² Sistema de Proteção da Amazônia, ana.strava@sipam.gov.br

³ Sistema de Proteção da Amazônia, thiago.martarole@sipam.gov.br

* Autor Correspondente: Paulo César de Godoy Junior

fazem parte do território brasileiro (87,6% pertence ao estado do Acre e 12,4% ao estado do Amazonas), restando 7,1% ao Peru e 5,4% à Bolívia.

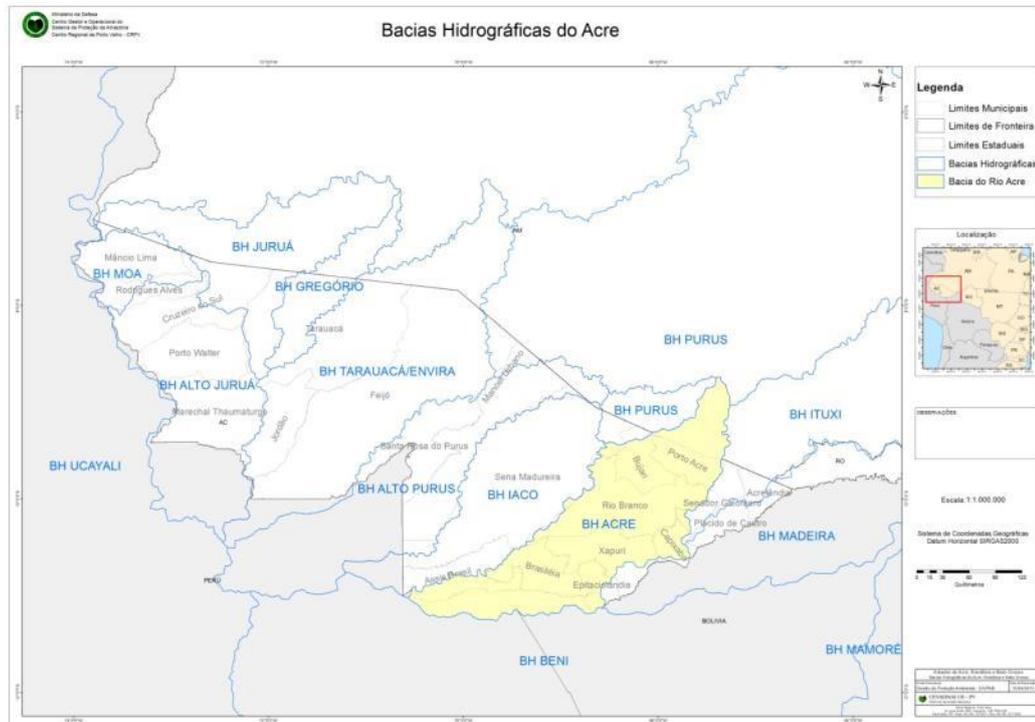


Figura 01 – Localização da Bacia do Rio Acre sobre recorte político-administrativo dos municípios do Estado do Acre.
Fonte: Correa, et al. (2015).

Thomas James Mulvany em 1851 avaliou uma maneira para aprimorar o estudo de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica e também de uma região a ser drenada que fosse resultante de um evento de chuva, deste modo Mulvany definiu tempo de concentração como tempo necessário para a chuva cair no ponto mais remoto da bacia e chegar ao exutório ou que toda a área da bacia contribua na vazão do exutório (Mota e Kobiyama, 2014).

O tempo de concentração pode ser aplicado em diversas situações, como: implementação sistemas de alerta contra inundações, projetos de drenagem urbana, separação do hidrograma e definição do intervalo de monitoramento hidrológico (Mota e Kobiyama, 2014).

O desenvolvimento de um sistema de monitoramento por meio de isócronas na bacia do Rio Acre torna-se conveniente por suas características geomorfológicas e hidrológicas. Segundo Seibt, et al., 2012 “as isócronas são linhas de contorno, que unem pontos na bacia que estão separados do exutório pelo mesmo tempo de viagem”. A Figura 2 apresenta um modelo teórico de mapa de isócronas e as respectivas áreas de drenagem com mesmo tempo de escoamento.

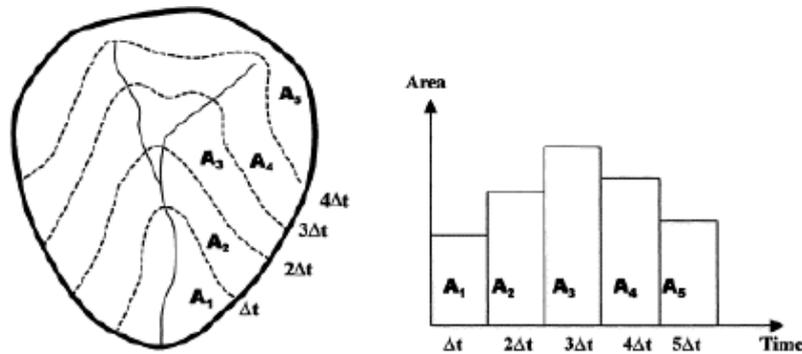


Figura 2 – Modelo de isócrona mostrando as variações que podem ocorrer em diferentes áreas da bacia. Fonte: Tomaz, (2014).

Pode-se dizer que as isócronas auxiliam na melhoria do monitoramento de áreas que sofrem com os recorrentes problemas de inundação. A região já conta com o SACE – Sistema de Alerta de Eventos Críticos, que foi desenvolvido pelo CPRM (Serviço Geológico do Brasil, que desenvolveu um sistema de alerta do tipo cota-cota. Assim sendo, pode-se potencializar o sistema com o estabelecimento das zonas de mesmo tempo de concentração para a bacia do Rio Acre para ampliar o conhecimento os tempos de chegada das ondas de cheia, para qualquer ponto da bacia onde se identifiquem as chuvas.

METODOLOGIA

A bacia do Rio Acre foi dividida em trechos de acordo com a localização das estações pluviométricas que apresentaram menos falhas nas respectivas séries históricas que seriam utilizadas para o cálculo dos tempos de concentração. O tempo de concentração foi calculado de forma a dividir a bacia vários intervalos de 6 h. As estações escolhidas foram: Assis Brasil, Brasiléia, Xapurí e Rio Branco. A escolha do exutório na bacia foi determinada em função dos últimos eventos hidrológicos extremos que afetaram a cidade de Rio Branco. A partir desse ponto, a obtenção das isócronas se deu pela estimativa dos tempos de concentração e as respectivas distâncias a serem percorridas.

Por sua vez, os tempos de concentração foram calculados por meio de fórmulas empíricas bem conhecidas no âmbito da hidrologia, a saber: Kirpich, Ven Te Chow, CHPW (California Highways and Public Works), Picking e TEMEZ conforme equações abaixo:

$$\text{Kirpich: } T_c = 0,39 \left(\frac{L^2}{I} \right)^{0,385} \quad (1)$$

$$\text{Ven Te Chow: } T_c = 0,8773 * \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64} \quad (2)$$

$$\text{CHPW: } T_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (3)$$

$$\text{Piking: } T_c = 5,3 * \left(\frac{L^2}{I} \right)^{0,333} \quad (4)$$

$$\text{TEMEZ: } T_c = 0,3 \left(\frac{L}{I^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (5)$$

Os tempos foram fixados de 6 em 6 horas até o limite da bacia que apresentou tempos de até 96h. Utilizando a equação (2), que se mostrou a mais adequada, foram estimadas as distancias a serem percorridas ao longo da malha hídrica. As validações dos tempos foram realizadas pela comparação dos hidrogramas observados nas estações fluviométricas ao longo do Rio Acre. As estações utilizadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estações utilizadas para validação das isócronas ao longo do Rio Acre

Estação	RIO BRANCO	XAPURI	BRASILÉIA	ASSIS BRASIL
Código	13600002	13550000	13470000	13450000
Rio	RIO ACRE	RIO ACRE	RIO ACRE	RIO ACRE
Município	RIO BRANCO	XAPURI	BRASILÉIA	ASSIS BRASIL
Latitude	-9:58:30	-10:39:5	-11:1:4	-10:56:37
Longitude	-67:48:3	-68:30:22	-68:44:42	-69:33:56
Altitude (m)	116,74	152,56	163,93	222,75
Área de Drenagem (km2)	23500	8270	7020	3760

A segunda etapa de trabalho consistiu da espacialização dos pontos de mesmo tempo de concentração sobre a malha hídrica fornecida pela SEMA-AC (Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Acre), na escala de 1:100.000. A parte da malha hídrica, da bacia, localizada fora do Brasil foi completada com as informações da ANA (Agência Nacional de Águas), na escala 1:1.000.000. Em que pese a diferença das escalas, espera-se que o resultado final não apresente grande diferença em termos de erros, pois a área dessa porção representa apenas 17,52% da área de estudo. A espacialização foi realizada sobre o software livre de código aberto, QGis.

A finalização do produto consistiu em interpolar os pontos das isócronas por meio de krigagem, disponível no QGis para obtenção de uma superfície contínua de tempos de concentração. A análise e validação dessa superfície foi realizada pela observação das chuvas registradas pelo Global Precipitation Measurement – GPM, da NASA, ao lado de dados das PCD's da rede hidrométrica. A representação gráfica da chuva obtida pela missão GPM/NASA está apresentada na Figura 3, de onde se pode observar também os limites das sub-bacias que compõe a bacia do Rio Acre. A mesma refere-se às chuvas acumuladas do dia 20 de fevereiro de 2017.

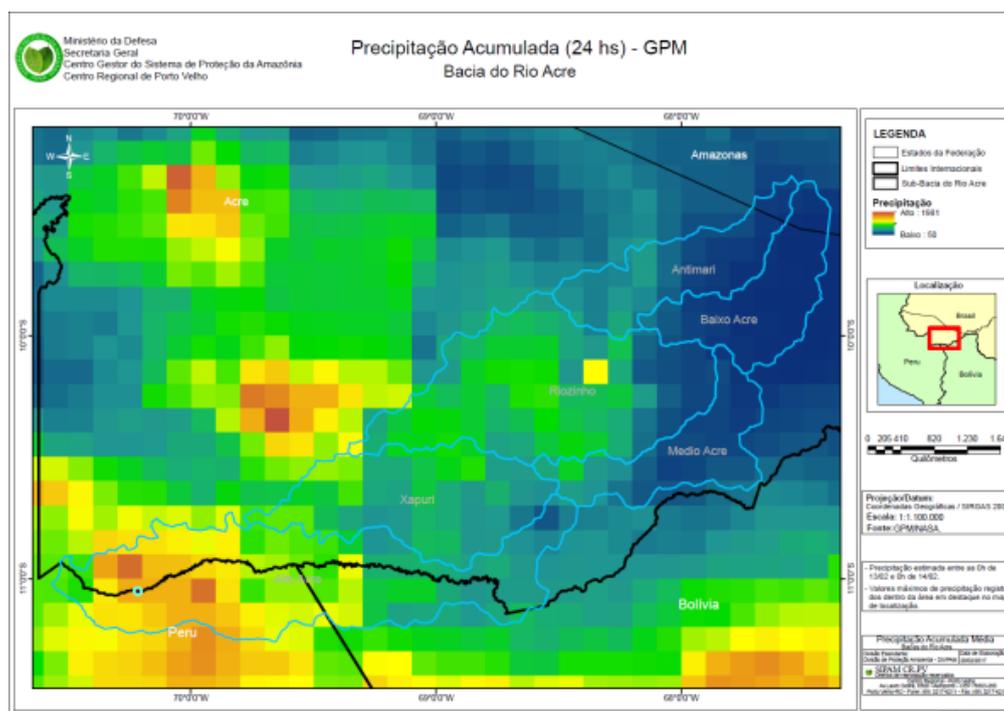


Figura 4 – Mapa GPM mostrando a precipitação local.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para determinação dos tempos de concentração, no caso da bacia do Rio Acre, foram testados os métodos de Kirpich, Ven Te Chow, CHPW (California Highways and Public Works), Picking e Temez, sendo o método de Ven Te Chow o que demonstrou resultados que mais se aproximaram da validação para a pesquisa. A partir dele, procedeu-se ao cálculo dos tempos de concentração na bacia hidrográfica.

A Tabela 2 mostra o tempo observado de acordo com os dados das séries históricas obtidos do banco de dados do SIPAM. Já a Tabela 3 apresenta os tempos estimados. Por meio desta destaca-se o método de Ven Te Chow, por ter apresentado resultados mais próximos aos observados nos hidrogramas das estações.

Tabela 2 – Tempos observados através das séries históricas

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DOS MAIORES PICOS DO PERÍODO	
Estações	Tempo (H)
ASS/BRA	53,20
BRA/XAP	33,94
XAP/RIO	54,38

Tabela 3 – Comparação dos métodos

	ASSIS BRASIL/BRASILÉIA		BRASILÉIA/XAPURI		XAPURI/RIO BRANCO	
	RESULTADOS	UNIDADE	RESULTADOS	UNIDADE	RESULTADOS	UNIDADE
Kirpich	5,63	h	5,03	h	9,16	h
	0,24	dia	0,21	dia	0,28	dia
Ven Te Chow	35,77	h	35,10	h	52,60	h
	1,47	dia	1,46	dia	2,21	dia
CHPW	4935,18	min	4825,40	min	7850,27	min
	82,06	h	80,24	h	130,53	h
	3,38	dia	3,01	dia	5,50	dia
Picking	251,20	min	246,36	min	375,30	min
	4,19	h	4,11	h	6,26	h
	0,17	dia	0,17	dia	0,26	dia
TEMEZ	8,10	h	5,99	h	11,36	h
	0,34	dia	0,25	dia	0,47	dia

A Tabela 4 apresenta o resultado dos cálculos das distancias relativas a cada isócrona, sendo o intervalo estabelecido a cada 6 horas até o limite de 96 horas que é o tempo de concentração total da bacia com exutório em Rio Branco.

Tabela 4 - Representação das isócronas determinando o tempo e a distância a ser traçada.

Tempo (h)	Distância (km)	Tempo (h)	Distância (km)
6	8,96	54	277,64
12	26,47	60	327,32
18	49,89	66	379,88
24	78,20	72	435,21
30	110,82	78	493,19
36	147,35	84	553,73
42	187,47	90	616,76
48	230,97	96	682,20

Após a obtenção dos tempos e distâncias, procedeu-se à espacialização dos pontos das isócronas por meio do software Qgis. A Figura 5 mostra o resultado final após a espacialização dos pontos das isócronas espaçadas a cada 6 horas.

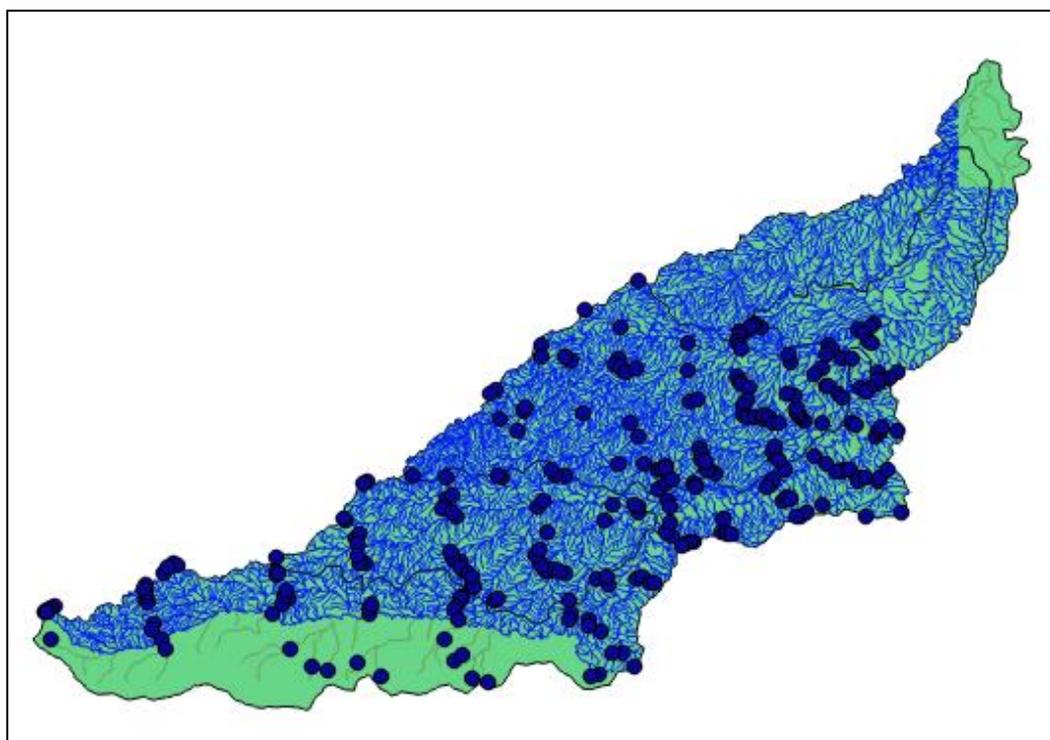


Figura 5 – Espacialização dos pontos de isócronas.

Com a espacialização destes pontos de isócronas foi possível criar uma superfície contínua por krigagem realizada utilizando-se a ferramenta de interpolação do software Qgis. Essa superfície de "tempos", torna possível obter-se o tempo estimado de deslocamento da onda de inundação para chuvas ocorridas em qualquer região que estiver sob a área da superfície.

Da Figura 6, observa-se um exemplo de aplicação da superfície de tempos a partir do ponto destacado com circunferências duplas, ao sul do estado. Os atributos da imagem, mostrados na tabela superior, destacam que esse ponto corresponde à 85,83 horas até o exutório, ou seja, interpolado entre as isócronas de 84 e 90h, originalmente estimadas.

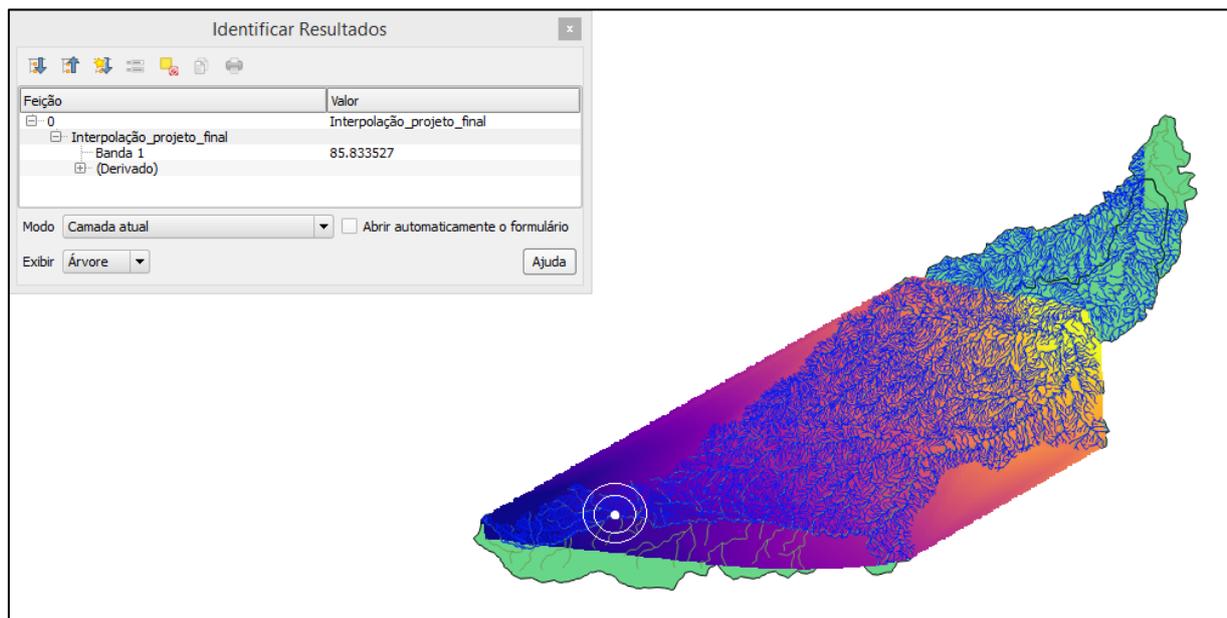


Figura 6 – Superfície desenvolvida, mostrando o tempo que levará a uma suposta onda de inundação chegar até o exutório.

A validação do produto foi realizada comparando-se os tempos teóricos aos observados nos hidrogramas. Até a finalização da pesquisa, foi constatado um erro médio de ± 2 dias. Este erro pode ser minimizado por meio de ajustes na fórmula de tempo de concentração, adequando-a para a bacia do Rio Acre. Ainda assim, as melhorias poderão ser realizadas a medida da aplicação da ferramenta proposta. Isso, porque o projeto será disponibilizado para a defesa civil do estado do Acre e para a Secretaria de Meio Ambiente, que fornecerão o feedback para aprimoramento da ferramenta como alerta de inundações no exutório.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento das isócronas, atendeu à necessidade de se obter os tempos de concentração na bacia hidrográfica do Rio Acre. Sua aplicação, na forma de superfície contínua, permite a estimativa do tempo que leva uma onda de cheia para atingir a cidade de Rio Branco. A ferramenta tem potencial de integrar o sistema de alertas existente no estado do Acre, voltada para o atendimento das autoridades de Defesa Civil, tais como a Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SEMA, Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Estado do Acre – CEPDEC/AC.

O método de Ven Te Chow se mostrou o mais eficiente, por ter se aproximado dos resultados observados nos hidrogramas disponíveis na bacia. Contudo, o processo de validação indicou que as isócronas finais apresentaram um erro médio de ± 2 dias. Esse erro ainda está em um patamar muito elevado, pois representa 50% do tempo de concentração da bacia como um todo. Assim, recomenda-se a adaptação na fórmula de acordo com as características da bacia do Rio Acre.

AGRADECIMENTOS

Ao Sistema de Proteção da Amazônia e à Faculdade de Rondônia pela cessão de dados e equipamentos para o desenvolvimento da pesquisa. Colaboraram, também, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a Defesa Civil (CEDEC) do Estado do Acre e a Secretaria de Meio Ambiente do Acre – SEMA.

REFERÊNCIAS

CORREA, A. C. S., et al., (2015). Análise da frequência de eventos hidrológicos extremos na bacia do rio Acre. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, nov. 2015.

IBGE (2014). Cidades, *In* Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=12&search=acre>. Acessado em 09/05/2017

LATUF, M. O. (2011). Modelagem hidrológica aplicada ao planejamento dos recursos Hídricos na bacia hidrográfica do Rio Acre. *Tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em Geografia - FCT/UNESP, Presidente Prudente – SP, 240 p.*

MOTA, A. A., Kobiyama, M. (2014). Reconsiderações sobre a fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração, *Revista Brasileira de recursos Hídricos* vol.20, nº.1, p.56, 2014.

SEIBT, A. C., et al., (2012). Comparação das vazões de projeto pelo método racional e método tempo área para bacias urbanas do município de Goiânia – GO, *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil* Vol. 4, nº 2, p.62, 2012.

TOMAZ, P. (2014). *Curso de Manejo de Águas Pluviais: Capítulo 113 – Método de Clark*, 20 p.