

Estudos hidrológicos como subsídios na melhoria ao acesso às escolas ribeirinhas da bacia do Tarumã-Mirim. Manaus/AM.

Sidiney Araújo Gloria¹
Naziano Pantoja Filizola²

¹Universidade Federal do Amazonas – UFAM
Manaus – AM, Brasil
araujog2003@yahoo.com.br

²Universidade Federal do Amazonas – UFAM
Manaus – AM, Brasil
naziano.filizola@gmail.com

Abstract. This study characterizes the hydrology of a small tributary river basin of the Rio Negro (the Tarumã-Mirim river) near the city of Manaus, Brazil. This results was used to provide subsidies to assist the local government on its task to give children access to seven municipal school units, located at the river borders, suffering with floods and droughts. The schools access routes are made by small boats. The routes were tracked by GPS, in different periods of the year to identify their variability during the hydrological cycle. The data were plotted on Geographic Information System (GIS) for thematic mapping, and also the school position at the basin as well. To identify periods of easy access trough the streams, a hydrologic station was installed to monitor water levels and rainfall variability in the upper portion of the basin, for the year of 2011. The schools and their locations were identified. The data from the year of 2011 were correlated with station located at the Manaus harbor (Rio Negro). Statistical methods were used to analyze the historical data and to compare the stations used. The results made possible to view the influence of the Rio Negro into the Tarumã-Mirim water variability. It was also used to propose a school calendar adapted to the local hydrological regimes, helping children reaching their schools more safely.

Palavras-chave: Tarumã-Mirim's Watershed, School Transportation, Local Hydrological system.

1. Introdução

As escolas ribeirinhas da rede de ensino do Município de Manaus, localizadas na Bacia do Rio Tarumã-Mirim, afluente da margem esquerda do baixo curso do Rio Negro, Estado do Amazonas, apresentam problemas de acesso, principalmente em função da sazonalidade do regime dos rios. Neste sentido elas sofrem os efeitos das oscilações anuais, dos rios da bacia, sobretudo em período de águas baixas, o que compromete o acesso dos alunos aos educandários que utilizam meio de transporte fluvial. As escolas possuem lanchas (voadeiras) para transportar os alunos, que no período de águas baixas (no caso da Bacia do Rio Tarumã-Mirim) deixam de adentrar em muitos lugares em decorrência dos efeitos causados pela vazante dos rios.

Os estudos hidrológicos servem para explicar o funcionamento da dinâmica hídrica e suas interferências e melhoria na aplicabilidade das atividades que ocorrem no interior da bacia hidrográfica. Na Amazônia, os recursos hídricos estão relacionados com os limites naturais, principalmente como meio de transporte com várias finalidades, ou até mesmo, à sobrevivência dos povos tradicionais, que habitam as margens dos rios e deles retiram o alimento para sua subsistência.

No período de águas baixas as escolas ficam isoladas e os caminhos são, muitas vezes, percorridos em longas caminhadas, o percurso das lanchas, muitas vezes são interrompidos por obstáculos encontrados no leito dos igarapés. Neste momento é necessária maior atenção dos condutores, que além de zelar pela segurança das crianças que são expostas a riscos de acidentes todos os dias tem também que cuidar para evitar pequenas avarias. Nesta região os rios assumem papel preponderante de vias de acesso a algumas localidades e esses caminhos se diferenciam por apresentarem variações em seus níveis. Essas alterações cíclicas e anuais

ocasionam problemas de acesso às escolas localizadas na bacia do Rio Tarumã-Mirim, os estudantes têm que percorrer longas caminhadas em terrenos inundados e acidentados e, por muitas vezes, são obrigados a descer das embarcações e empurrá-las em direção aos cursos d'água, por conta de obstáculos encontrados nos Igarapés¹ como mostra a Figura 01.

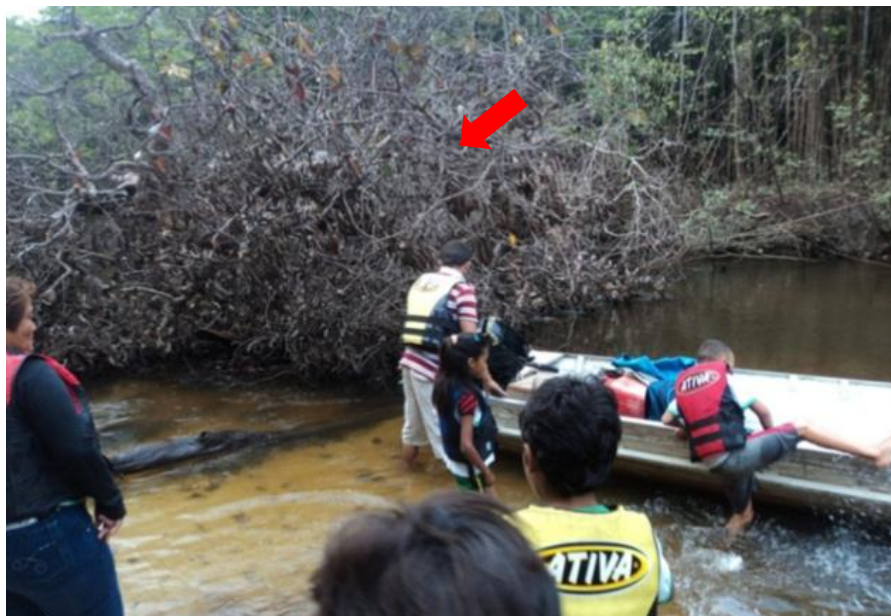


Figura 01: Igarapé bloqueado por árvore (seta vermelha), fazendo com que estudantes e professores tenham que descer para empurrar o barco.

O estudo teve como referências, alguns trabalhos que abordaram a dinâmica sazonal de ecossistemas aquáticos da Região Amazônica, com destaque para Junk (1983); Meade, *et al.* (1991); Molinier *et al.* (1995); Botelho, (1999); Latrubesse e Franzinelle (2005); Filizola *et al.* (2002, 2009, 2010). Estes e outros autores mencionam mudanças em ilhas, meandros de rios, biomassa, espaços vegetados e diversos outros aspectos da paisagem que compõem uma bacia hidrográfica.

O regime hidrológico do Rio Negro, nas adjacências do porto de Manaus é controlado pela água do Rio Amazonas, cuja descarga é maior e causa efeito de “*back water*” barramento hidráulico na água do Rio Negro Meade *et al.*, (1991). A partir disso, a concepção de um planejamento pedagógico anual necessita de conhecimentos acurados dos fatores naturais e antrópicos que interferem na dinâmica de uma bacia hidrográfica. Assim, analisou-se os melhores períodos do ciclo hidrológico anual, para oferecer subsídios na elaboração de um calendário escolar diferenciado para a Bacia do Rio Tarumã-Mirim. Desta forma, caracterizou-se o regime hidrométrico e com base em estudos hidrológicos, sugeriram-se três opções de calendários para as escolas rurais ribeirinhas, de acordo com as especificidades do local. Também se localizou e identificou cada uma das escolas municipais na Bacia do Rio Tarumã-Mirim a fim de descrever as rotas do transporte escolar em dois períodos: águas baixas e águas altas e correlacionou-se os dados hidrológicos de uma estação chave na bacia do Tarumã-Mirim com os dados da estação do Porto de Manaus.

2. Metodologia

O trabalho teve início com levantamento bibliográfico, o qual foi distribuído em etapas. No primeiro momento aconteceram às coletas de materiais pertinentes à temática proposta: teses, dissertações, artigos e livros pesquisados no universo científico. Num segundo momento, se estabeleceu um planejamento para utilização de ferramentas de

sensoriamento remoto, geoprocessamento e instrumentos do sistema de informações geográficas (SIG). Os levantamentos dos dados primários tiveram início com idas a campo para constatação de dados, localização das escolas, bem como identificar o melhor local para o monitoramento e instalação da Estação Hidrométrica do Rio Tarumã-Mirim (ETM). Utilizou-se GPS para localização e levantamento das rotas escolares em cada educandário e na realização das trilhas em períodos distintos do ano (águas altas e baixas). Buscou-se dados de cota da estação do porto Manaus para comparações com as informações obtidas na estação ETM.

A área de estudo, corresponde à bacia do Rio Tarumã-Mirim localizada à margem esquerda do Rio Negro apresentada na Figura 02. O acesso se dá por via fluvial (lanchas rápidas) tendo como ponto de partida o porto da Marina do David, na Ponta Negra, com direção às comunidades situadas na margem direita da bacia e que podem também serem acessadas pela rodovia federal, BR-174, Km 21- Ramal do “Pau Rosa”.

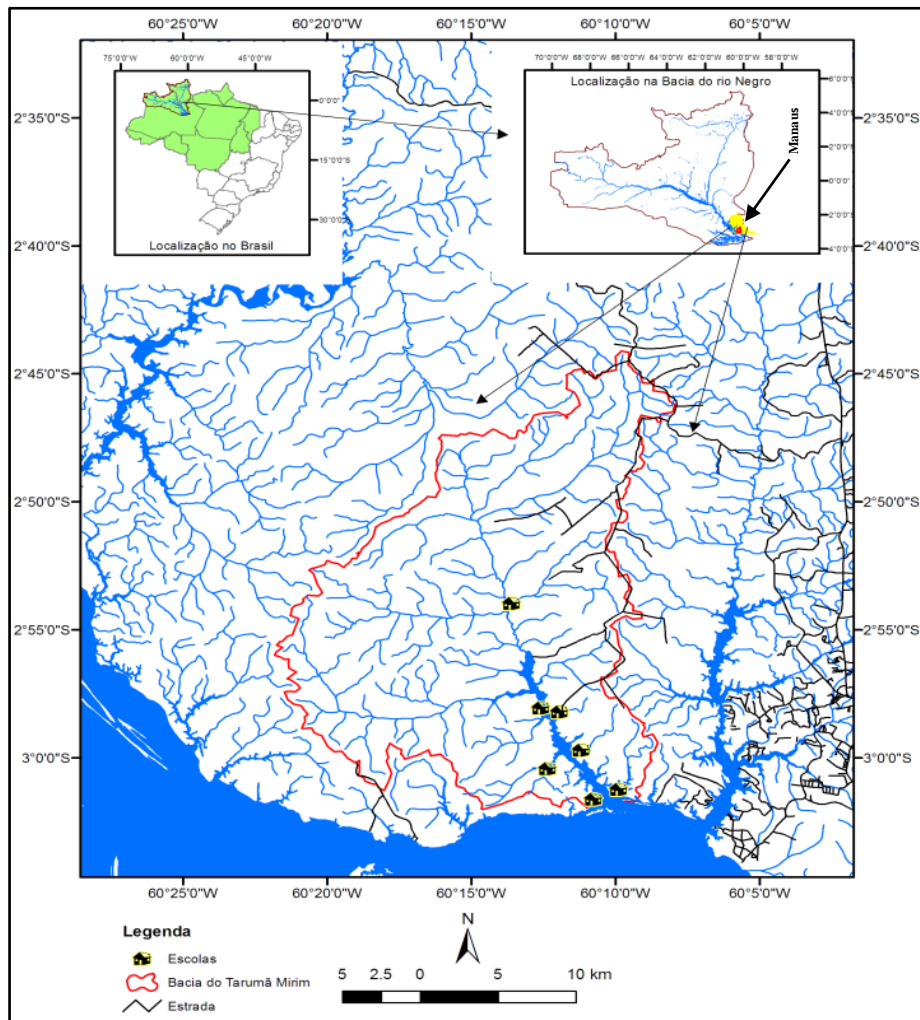


Figura 02: Localização da bacia do Rio Tarumã-Mirim e a distribuição das escolas no seu leito.

Todas as informações levantadas nesta etapa foram tratadas em uma base em plataforma SIG para gerar os pontos de localização das escolas, as trilhas, gráficos e mapas temáticos para o bom entendimento dos resultados esperados. Utilizou-se o software TrackMaker, versão 13.8 (software livre), para a transferência dos dados do GPS para o

computador. Os dados hidrológicos consistiram em caracterizar a bacia de acordo com seu padrão de drenagem, bem como, levantar dados de pluviosidade e nível de cotas fluviométricas. Tais dados foram submetidos a tratamento estatísticos de análise de correlação e regressão linear. As informações obtidas foram extraídas de dados primários e secundários, para gerarem elementos para as análises. Foi instalado no local uma sessão de régua linimétrica e pluviômetro artesanal. A ETM teve como finalidade de fornecer informações hidrológicas para o ano de 2011. As atividades de campo foram realizadas com visitas técnicas programadas, plotagem e tratamento dos dados.

No desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas algumas ferramentas, como: o software ArcGIS versão 9.2, disponível no Laboratório de Potamologia Amazônica (LAPA) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), o programa TrackMaker versão 13.8, bem como o ENVI versão 4.7, além das imagens digitais LANDSAT-5 TM das bandas 3,4 e 5, dos anos de 2009 e 2010, bem como imagens digitais SRTM e suporte de GPS GARMIN para auxiliar na localização das escolas e monitoramento das rotas. Os dados secundários consistiram em tratamento de imagens LANDSAT, baixados do sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e imagens SRTM, baixadas do sítio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Foram analisadas as rotas escolares nos dois períodos (águas altas e baixas) com a finalidade de quantificar as diferenças no traçado das trilhas, assim como as séries históricas do Porto de Manaus do período de 30 anos (1980-2010) conforme recomendação da *World Meteorological Organization* (WMO), para estudos hidrológicos e os dados da ETM referente ao ano de 2011 de cota e de chuva.

Realizou-se uma análise de correlação linear entre variáveis onde os valores do coeficiente r variam de -1 a +1 quanto mais próximo de +1, maior a qualidade do ajuste ou associação linear, no sentido de uma correlação positiva. Segundo Martins (2005) a correlação entre duas variáveis podem ter ou não causas e efeitos de uma sobre a outra por se tratarem de cálculos matemáticos, ambas podem ser ou não influenciadas por outra variável a que pode apresentar forte ou fraca relação. Portanto, criou-se uma tabela em planilha eletrônica de cálculo onde foram comparados os dados do ano de 2011 de ambas as estações tanto do porto de Manaus quanto da estação ETM para fazer o ajuste e achar o coeficiente de regressão dos dados e criar uma série ampliada de 30 anos para a bacia do Rio Tarumã-Mirim, mesmo sem possuir dados diretos desta estação. A regressão linear foi realizada conforme Martins (2005), utilizando um par de valores das variáveis X e Y, no caso deste estudo, foram apresentados os valores da cota pluviométrica do mesmo ano do porto de Manaus e ETM, para então criar uma série ampliada para a bacia do Rio Tarumã-Mirim, com base na comparação dos valores para o período de trinta anos na estação que se tinha dados.

3. Resultados e discursões

Com a finalidade de diferenciar a área de inundação nos dois períodos (águas altas e baixas) e ainda quanto ao uso do solo, foi realizada a classificação de imagens da área de estudo. A classificação é um processo de extração de informação em imagem para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os classificadores procuram simular a função da fotointerpretação ao reconhecer áreas homogêneas das imagens baseadas nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. Para tal classificação utilizou-se imagens LANDSAT do site do INPE nas bandas 3, 4 e 5 referentes ao mês de setembro de 2009 quando o Rio Negro se encontrava na ocasião da vazante e LANDSAT das bandas 3,4 e 5 do mês de julho de 2010 para definir o momento em que o Rio Negro se encontrava na enchente. Cabe destacar que estes dois anos (2009 e 2010) foram marcados excepcionalmente por uma enchente e uma estiagem recorde e histórica respectivamente, observado na figura 03 A e B.

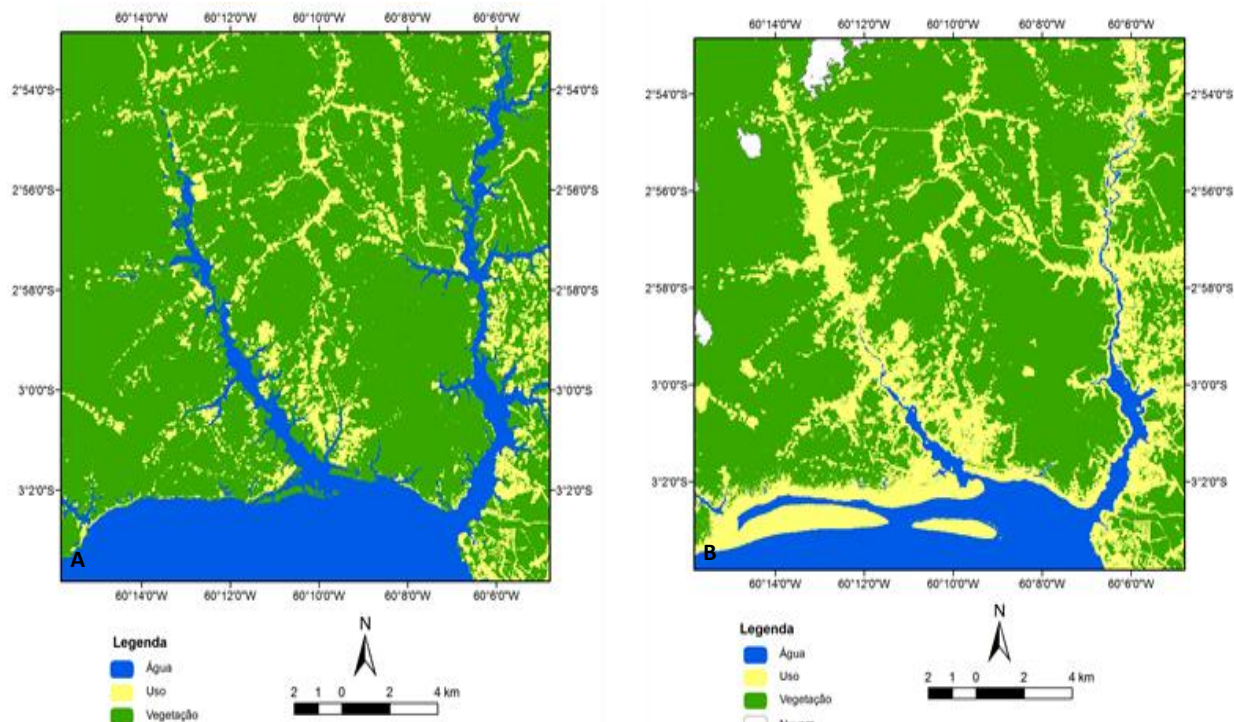


Figura 03: Classificação e delimitação da área da bacia do Rio Tarumã-Mirim com imagens LANDSAT. Modificado de INPE, 2012.

Os resultados obtidos nas análises dos dados das rotas do transporte escolar à luz da variabilidade hidrológica geral mostram as diferenças nos percursos realizados pelas lanchas em períodos distintos decorrentes da transformação do cenário hidrológicos. As diferenças nas distâncias dos percursos nos período de águas baixas e águas altas podem ser observadas na Tabela 01 em percentual.

Tabela 01. Distâncias das rotas em metro em períodos distintos e suas diferenças em percentual. * Aa (Águas altas) e **Ab (Águas baixas).

Escolas	Águas altas *Ab (metro)	Águas baixas **Aa (metro)	Diferenças entre "Aa" e "Ab" em %
Raul Pompeia	48.749	43.153	11%
Canaã II	13.126	7.359	44%
São José I	26.126	20.206	23%
José Sobreira	24.943	21.675	13%
Ebenezer	12.660	8.106	33%
Paulo Freire	5.224	4.863	7%
São Sebastião	8.271	4.800	42%
Total em metros	139.099	110.162	

Como observado, todas as rotas diminuem seus percursos no período de Ab, no entanto, isso gera outro problema para os alunos acessarem a escola, pois neste período eles percorrem longas distâncias em trilhas, sem sinalização, ou dentro de pequenas embarcações, com dificuldades conseguem romper os obstáculos encontrados nos igarapés, tais barreiras são vencidas diariamente por alunos e professores que arriscam as próprias vidas, ao descer das embarcações.

As imagens LANDSAT dos períodos Ab e Aa apontam as diferenças nos traçados das rotas nos dois períodos do ano, observa-se que a rota de uma escola apresentou maior variação entre os períodos distintos, trata-se da escola Canaã II, localizada na comunidade de Julião, esta rota apresenta diminuição de 44% no seu percurso, no período de Ab. Para facilitar visualização os polígonos das trilhas foram separados por cores distintas, amarelo

para Ab e vermelho para Ab. O percurso realizado pela lancha da escola Canaã II pode ser observado na Figura 04.

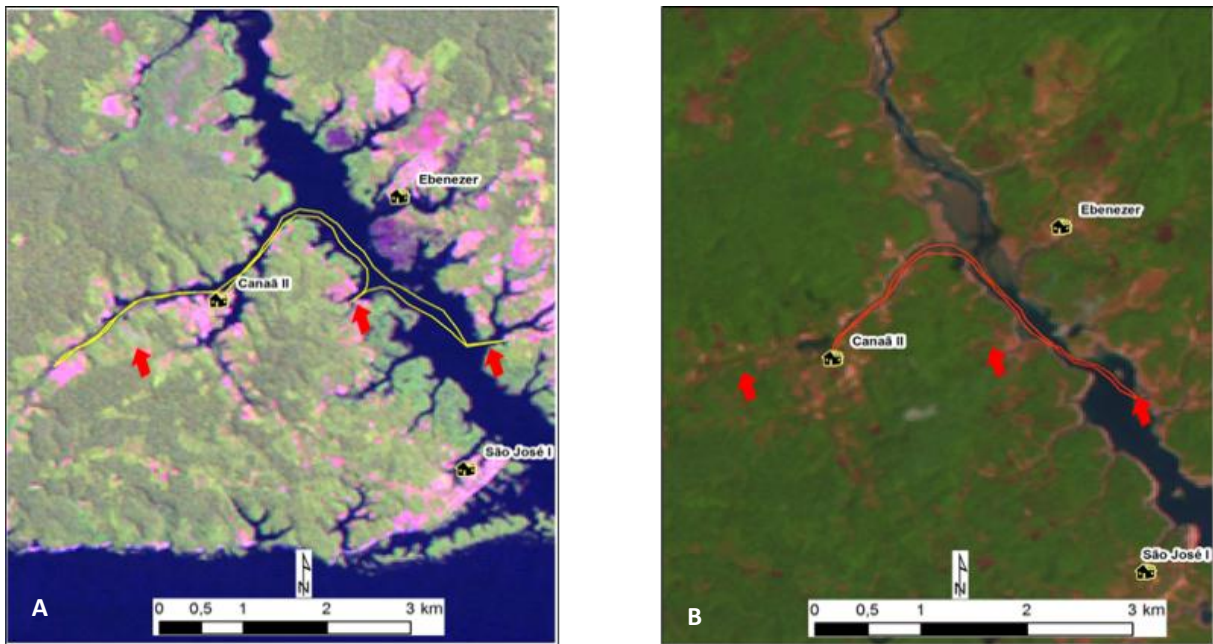


Figura 04: Rota da Escola Municipal Canaã II A), período Aa, B) período Ab. As setas vermelhas indicam os percursos suprimidos entre os períodos distintos.

No período de águas altas os percursos das rotas aumentam devido à possibilidade de acesso em determinados canais que durante o período oposto desaparecem completamente, impedindo o acesso das lanchas, ocorre um contraste nos dois cenários, como pode ser observado no traçado da rota da escola Canaã II. De acordo com o que foi observado e mostrado na trilha desta rota escolar, verificou-se que tal variação no percurso se dá em decorrência do ciclo hidrológico na bacia do Rio Tarumã-Mirim e que essas variações ocasionam alterações em todos os percursos, aumentando no período de Aa e diminuindo no período de Ab.

O resultado das análises dos dados pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela estação ETM em 2011, percebeu-se a distinção de quatro períodos para as medições de cotas. Estes períodos foram identificados como domínios em função do que se observou como características mais importantes na definição de cada um dos quatro comportamentos observados e mostrados nas análises realizadas com os dados das réguas da ETM. O primeiro período de janeiro a março, o segundo de março a junho, o terceiro de junho a setembro e o quarto de setembro até janeiro novamente, fechando assim, o ciclo anual. Observa-se que o quarto período durou mais tempo, do mês de setembro até janeiro e acumulou 133 dias foi também foi o período que a bacia apresentou cotas menores, pois neste período o Rio Negro encontra-se com seu nível baixo ocasionando pouca ou nenhuma influência sobre o regime interno do Tarumã-Mirim, a pluviosidade coletada na ETM serviu para mostrar a sua influência na dinâmica interna, assim como, o volume de cota medido no porto de Manaus sobre as médias diárias registradas nas réguas linimétricas da estação ETM. Os dados de pluviosidade foram coletados com uso de pluviômetro simples na estação ETM nas proximidades da Escola Raul Pompeia. As informações são apresentadas em milímetros (mm) e forneceram elementos para identificar pelo menos três períodos distintos, um pouco diferente dos domínios fluviométricos. A Tabela 02 mostra resumidamente os resultados do período de 21/01/2011 a 21/01/2012. Tais dados

Tabela 02. Dados pluviométricos e fluviométricos da estação ETM para 2011

Períodos	Chuva total p/ período (2011)	Datas de chuva	Nº dias chuva	Cotas médias p/ período (2011)	Datas de cotas	Nº dias cota	% de chuva por período
1º	696,2	21/01 a 21/3/2011	60	83	21/01 a 22/03/2011	60	25%
2º	1187,9	22/03 a 27/09/2011	190	230	22/03 a 23/06/2011	94	44%
3º	826,1	28/09 a 21/01 2012	116	638	24/06 a 10/09/2011	79	31%
4º				143	11/09/10/11 a 21/01/12	133	
Total	2.710,2		366			366	100%

A estação ETM, foi instalada e operada exclusivamente para esta pesquisa. Vale ressaltar que é a primeira vez que se realiza um trabalho utilizando medições de cota e pluviosidade para a bacia do Rio Tarumã-Mirim. O Gráfico 01-A, apresentam os dados de chuva e cota, separados por períodos e domínios, já o Gráfico 01-B, apresentam os comportamentos das médias diárias de 2011 da estação do porto de Manaus em comparação as medias diárias da ETM do mesmo período.

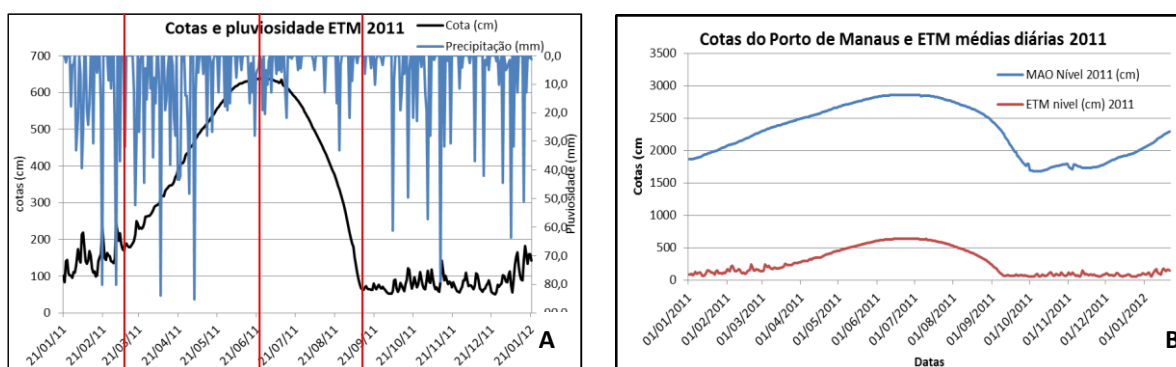


Gráfico 01 A e B: No gráfico A representa os dados fluviométricos e pluviométricos, os três traços vermelhos, representam os domínios diferenciados registrados na ETM 2011, o gráfico B apontam as médias diárias históricas da estação do porto de Manaus e estação ETM para o ano de 2011.

Conforme se observa no gráfico 01A, o primeiro período corresponde ao domínio da bacia do Rio Tarumã-Mirim, com influência do Rio Negro e do regime pluviométrico que ocorre no interior da bacia; o segundo período ocorre quando o regime local é inteiramente dominado pelo volume d'água do Rio Negro, corresponde ao período de subida das águas; o terceiro momento se dá quando as águas do Rio Negro começam recuar e aliviar a pressão sobre as águas da bacia do Rio Tarumã-Mirim. Por fim, o quarto domínio ocorre quando o nível das réguas da ETM encontra-se apenas controlado pelo regime local, ou seja, somente com a influência do volume de chuva precipitada na própria bacia do Rio Tarumã-Mirim.

A variabilidade hidrológica na bacia do Rio Tarumã-Mirim justifica as diferenças nas rotas de acesso às escolas desta localidade e, ao mesmo tempo, identifica os períodos mais críticos para o transporte escolar, recomenda-se que o período de férias dos alunos seja ajustado ao ciclo hidrológico da bacia, para que os mesmos não sejam prejudicados e o período legalmente estabelecidos por lei, ou seja, 800 h/ano por pelo menos 200 dias letivos sejam cumpridos. Sabe-se que há diferenças no comportamento do gradiente linimétrico de um ano para o outro. A avaliação dos dados do Tarumã-Mirim com base na série de dados de 30 anos da estação de Manaus evidencia isto. Desta forma, criaram-se alternativas para a elaboração de calendários escolar, apresentado na tabela 03 levando em consideração as

variações da sazonalidade na Bacia do Rio Tarumã-Mirim, usando os dados do Rio Negro em Manaus como variável de controle. Isso permitiu estabelecer uma flexibilidade quanto ao período de encerramento das aulas conforme o comportamento hidrológico, possibilitando o acesso dos alunos num período ótimo dado pelas condições fluviométricas dentro da bacia.

Tabela 03: Alternativas para a adequação do calendário escolar. Mais doze dias (*) podem ser inseridos no caso de uma desaceleração no gradiente linimétrico.

MESES	DIAS	EXTRAS	ANO SECO	ANO MÉDIO	ANO CHEIA
janeiro	20	4	24	24	24
fevereiro	20	4	24	24	24
março	20	4	23	24	24
abril	20	4	24	24	24
maio	20	4	24	24	24
junho	20	4	24	24	24
julho	20	4	24	24	24
agosto	20	4	24	24	24
setembro	20	4	*12+12	24	24
outubro	20	4		*12+12	24
novembro	20	4			24
dezembro		4			
Total de dias	220	44	215	240	264

Para melhor entendimento e levando em consideração as diferenças na velocidade de descida das águas do Rio Negro, denominou-se de anos secos aqueles em que os níveis das águas descem mais rápido, como anos médios quando a vazante mantém uma regularidade e anos cheios para aqueles que as águas descem lentamente e mantêm o volume d'água dentro da bacia. Para haver flexibilidade no calendário, utilizam-se uma margem de doze dias para serem usados como margem de segurança para os anos secos e anos médios, os anos cheios não necessitam ser acrescentado nenhum dia, pois não apresentariam déficits hídricos.

4. Conclusão.

Os estudos hidrológicos apresentados neste trabalho permitiram:

- Melhorar o entendimento da dinâmica hídrica da Bacia do Rio Tarumã-Mirim e as influências recebidas pelas cotas hidrométricas do Rio Negro no regime hidrológico local.
- Avaliar as interferências dos regimes pluviométricos e fluviométricos no transporte escolar dentro da Bacia e;
- Propor sugestões quanto à elaboração de um calendário escolar diferenciado e adequado ao regime hidrológico local, permitindo o acesso dos alunos com maior segurança.

Vale ressaltar que é a primeira vez que se realiza um estudo hidrológico na bacia do Tarumã-Mirim com utilização de estação hidrométrica no local. Sugere-se que a operação da ETM seja mantida como ferramenta auxiliar no aprimoramento do calendário escolar.

REFERENCIAS

BOTELHO, R.G.M. **Planejamento Ambiental em Micro bacias Hidrográfica**. In: **Erosão e Conservação dos Solos. – conceitos temas e aplicações**. A.J. T GUERRA & R. G. M. BOTELHO (Org.). Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1999, p. 269- 300;

FILIZOLA, N.P.; GUYOT, J.L.; MOLINIER, M.; GUIMARAES, V; OLIVEIRA, E de; FREITAS, M. A de. **Caracterização Hidrológica da Bacia Amazônica** in RIVAS, A & FREITAS, C. E de; **Amazônia uma perspectiva multidisciplinar**. ADUA: Manaus-2002 p 33-53.

FILIZOLA, N. CÂNDIDO, L. MANZI, L.A., ESPINOZA, J.C., RONCHAIL, J. & GUYOT, J.L. **Variabilidade Hidrológica na Amazônia. Uma perspectiva para a elaboração do balanço hídrico regional**. In: *Amazônia y Água. Desarrollo sostenible en El siglo XXI* Ed. UNESCO – Hermando Bernal *et al.* ISBN: 978-84-934779-8-1. 2009.

FILIZOLA, N.P. **The Rio Negro Rio Solimões confluence point – Hidrometric observations during the 2006-2007**. Cycle River Coastal and Estuarine Morphodynamics: RCEM 2009.

FRANZINELLI, E., IGREJA, H., 2002. **Modern sedimentation in the lower Negro river, Amazonas State, Brazil**. *Geomorphology*, 259– 272.

JUNK, W. J.; SOARES, BAYLER, J. P.; SPARKS, R. E. **The flood pulse in river-floodplain systems** in D.P Dodge ed. **Proceedings of the Internatinal Large River Symposium**. Can. Publ. Fish. Aquat. Sci 1989.

LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. **The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation ;in large anabranching tropical system. .** *Geomorphology* 70 Elsevier (2005) 372– 397.

MARTINS, G. de A. **Estatística Geral Aplicada** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MEADE, H.R; RAYOL, M.J.; CONCEIÇÃO, S.C da; NATIVIDADE, J.R.G. **Bacwater Effects in the Amazon River Basin of Brazil**. *Eviron Geol water Sci* vol. 18 No 2 105- 114. 1991 Springer-Veriag New York inc.

MOLINER, M.; GUYOT, J.L.; OLIVEIRA, E de.; GUIMARÃES, V. & CHAVES, A. **Hydrologie du bassin de l 'Amazone**. In: **Grands Bassins Fluviaux Périatlantiques**. Paris, 1995. p 335–344.