

Relatório Final de Atividades

**Estudo observacional do impacto da conversão de floresta em pastagem em
micro-bacias da Amazônia Central.**

Bolsista: Mônica da Silva Ferreira

Orientador: Javier Tomasella

CPTEC / INPE

2008

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome: **Mônica da Silva Ferreira**

Local de Trabalho: **CPTEC / INPE**

Título do projeto: **Estudo observacional do impacto da conversão de floresta em pastagem em micro-bacias da Amazônia Central.**

Tipo de bolsa: **Bolsa ITI-1A**

Período: **Agosto/ 2007 – Julho/ 2008**

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	4
1 OBJETIVOS	4
2 REGIÃO DE ESTUDO.....	4
3 DADOS E METODOLOGIA.....	5
3.1 Dados.....	6
3.2 Análise dos Dados da Bacia Mirim e Colosso.....	6
Dados de Chuva.....	6
Dados de Altura.....	7
Dados de Vazão (Escoamento Superficial).....	8
3.3 Métodos Sintéticos	10
4 RESULTADOS OBTIDOS	10
5 PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS.....	15
6 CONCLUSÃO.....	15
7 TRABALHOS FUTUROS	16
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

INTRODUÇÃO

A bacia Amazônica é o maior reservatório de água doce do planeta com cerca de 15-20 % do total disponível ao longo de 6.700.000 Km². Seus afluentes nascem na Cordilheira dos Andes e seu posicionamento sobre a linha do equador e zona de convergência intertropical torna a bacia mais sensível ao equilíbrio hidroclimático, proporcionado pelas alterações no clima nos hemisférios sul e norte (Salati & Vogue, 1982; Marengo, 2004).

A remoção da cobertura florestal proporciona uma série de alterações hidrológicas, conforme já verificado em diversos estudos com microbacias experimentais (Bosch & Hewlett, 1982; Bruijnzeel, 1990; Andreássian, 2004; Brown et al., 2005).

Atualmente existem poucos estudos de observações em bacias pareadas, dedicados ao estudo das alterações hidrológicas decorrentes de mudanças no uso do solo realizados em regiões de floresta tropical (Andreássian, 2004). A observação de bacias pareadas é uma metodologia de ampla aplicação no estudo de processos hidrológicos em locais com diferenças no clima, vegetação, geologia, solos e cobertura da terra (Andreássian 2004, Brown et al 2005).

1 OBJETIVOS

Assimilar a informação obtida nas duas micro-bacias e realizar análises de qualidade na mesma.

- Estudar os processos chuva - vazão da micro-bacia instrumentada Mirim (floresta não perturbada), e na micro-bacia Colosso (pastagem), na região Amazônica.
- Comparar o comportamento hidrológico encontrado na bacia Mirim e na bacia Colosso
- Estudar e identificar variações nas características dos hidrogramas nas bacias Mirim e Colosso.
- Analisar a aplicabilidade de metodologias sintéticas para a obtenção dos tempos característicos da resposta hidrológica nas bacias Mirim e Colosso.

2 REGIÃO DE ESTUDO

A bacia Mirim possui uma cobertura de floresta e apresenta uma área de 0.948 Km². Esta bacia faz parte da bacia Asu, com uma área de 6,56 Km² que está localizada no interior da reserva do Cuieiras a 84 Km de Manaus, e onde vem sendo monitoradas diferentes variáveis hidrológicas desde o ano 2001. A bacia Colosso apresenta áreas de pastagem como cobertura vegetal e é um afluente do igarapé conhecido na região como Ponta Verde. Está localizada na fazenda Esteio, e possui uma área de contribuição de aproximadamente 1,22 Km². As microbacias distanciam-se em 39 Km em linha reta (Fig. 01).

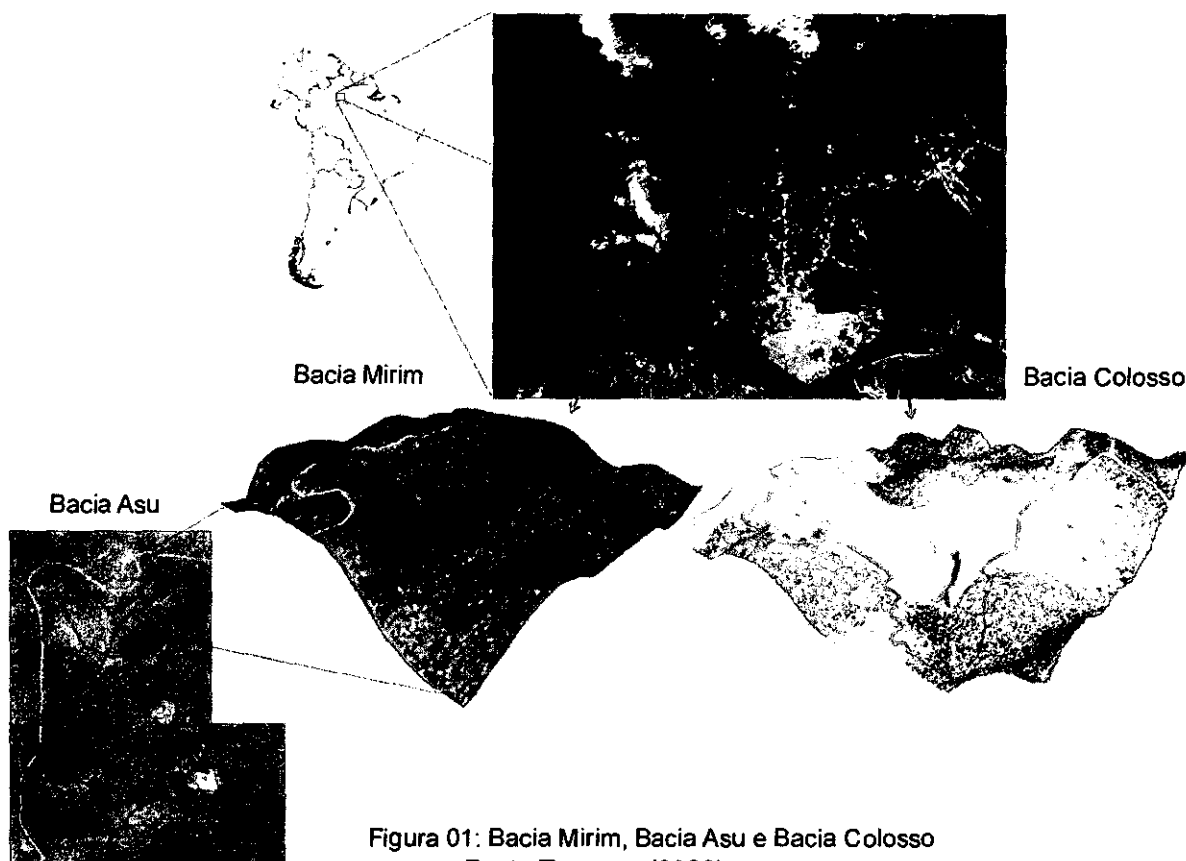


Figura 01: Bacia Mirim, Bacia Asu e Bacia Colosso
 Fonte:Tancoso (2006)

3 DADOS E METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo foram necessários não só conhecimentos na área de hidrologia, mas também na área de informática, mais especificamente na área de programação de computadores. Os dados coletados nas bacias estudadas são enviados para o CPTEC, muitas vezes, sem uma formatação padrão, o que dificulta a análise dos mesmos. Há, portanto, a necessidade de uma correção dos dados para um formato mais propício, facilitando o processo de estudo.

Portanto para o desenvolvimento da pesquisa houve a necessidade de fazer previamente o processamento dos dados por meio de programas de computadores que ajustam à formatação e determinam os faltantes de dados. Após o processamento dos dados, são confeccionados relatórios para o campo. Esta interação permite a detecção e correção de problemas, assim como relatar quais são os dados que não foram enviados para fazer uma nova solicitação (Fig. 02). Para este fim foi utilizada como ferramenta a linguagem Fortran e o editor de planilhas Microsoft ® Excel, software integrante do pacote Office da Microsoft Corporation.

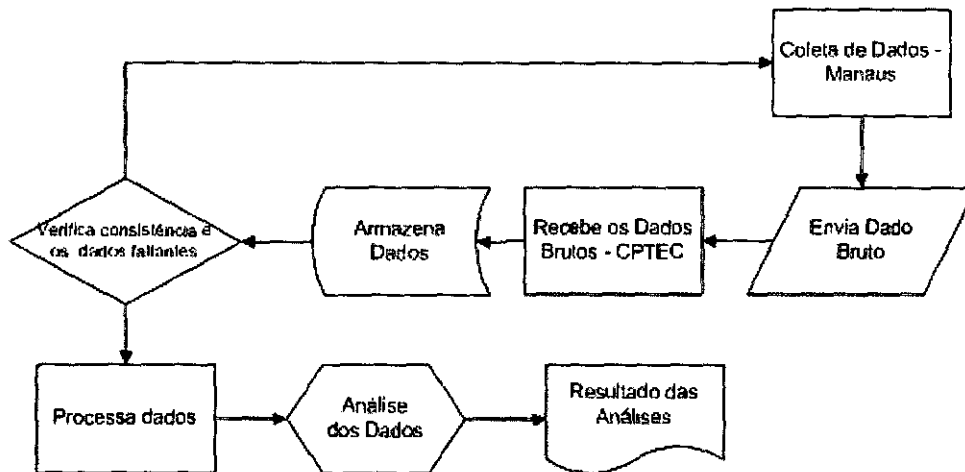


Figura 2 – Processo de envio de dados entre Manaus – AM e o CPTEC em Cachoeira Paulista - SP

3.1 Dados

As variáveis medidas nas micro-bacias hidrográficas são:

Precipitação: quantidade de precipitação coletada em pluviômetros na região, os dados correspondem a valores acumulados em intervalos de 5 minutos.
Precipitação Acumulada em Funis: quantidade de precipitação acumulada em funis (reservatórios) durante um determinado período de tempo (geralmente uma semana), e tem como finalidade o controle dos dados observados pelos pluviômetros.

Descarga: volume de água escoado pelo igarapé. Os dados são coletados em três seções dentro da bacia Asu como mostrado na figura 03, uma das quais corresponde a micro-bacia Mirim, e em uma seção na bacia Colosso.

Altura do nível de água: Mede a altura da água no igarapé. Os dados são coletados nas seções mencionadas, utilizando sensores de pressão e Doppler.

Altura do nível de água pela régua: Observações da altura de água nas seções utilizando uma régua hidrométrica.

Condutividade: indica o conteúdo de sais dissolvidos na água.

Profundidade do Lençol: profundidade do lençol freático. As medições são realizadas em forma automática e de forma manual numa bateria de poços.

Umidade do Solo: quantidade de água armazenada numa camada de solo. Os dados obtidos correspondem as medições num perfil de solo de 10 metros de profundidade, realizada de forma automática, e as medições realizadas em diferentes pontos da bacia Asu, utilizando uma sonda de nêutrons.

3.2 Análise dos Dados da Bacia Mirim e Colosso

Dados de Chuva

Os dados de chuva são coletados a cada 5 minutos por pluviômetros na bacia Asu e Colosso. A consistência dos dados de precipitação da bacia Asu foi estudada utilizando o método de Duplas Massas, onde a precipitação acumulada medida por pluviômetros próximos é comparada entre si.

Essa comparação é feita com o acumulado de chuva de cada pluviômetro em um dado período, e apresentado em um gráfico X-Y. O método assume que dada à proximidade dos pluviômetros, os mesmos ficaram expostos aos mesmos eventos, pelo qual o gráfico dos valores acumulados deve se aproximar de uma linha reta ascendente de inclinação unitária. Períodos em que o gráfico se afasta do desejado são identificados e estudados em detalhe, depurando os possíveis erros na

informação. Também para confirmar a qualidade dos dados de chuva, estes são comparados com os dados dos Funis. Os Funis nada mais são do que reservatórios, colocados próximos a cada um dos pluviômetros, onde são acumuladas as precipitações ocorridas num longo período de tempo (geralmente uma semana). Para determinar a precipitação que irá compor os eventos de chuva-vazão na bacia Mirim foram utilizados os dados de chuva corrigidos dos pluviômetros Torre 1 e Torre 2 (Fig. 03). Com estas informações foram obtidos os valores médios representativos das precipitações na bacia Mirim. Na bacia Colosso os dados provêm de um único pluviômetro associado com uma Plataforma de Coleta de Dados Automática. Estes dados foram acumulados a cada 30 minutos e analisados no que diz respeito a sua qualidade.

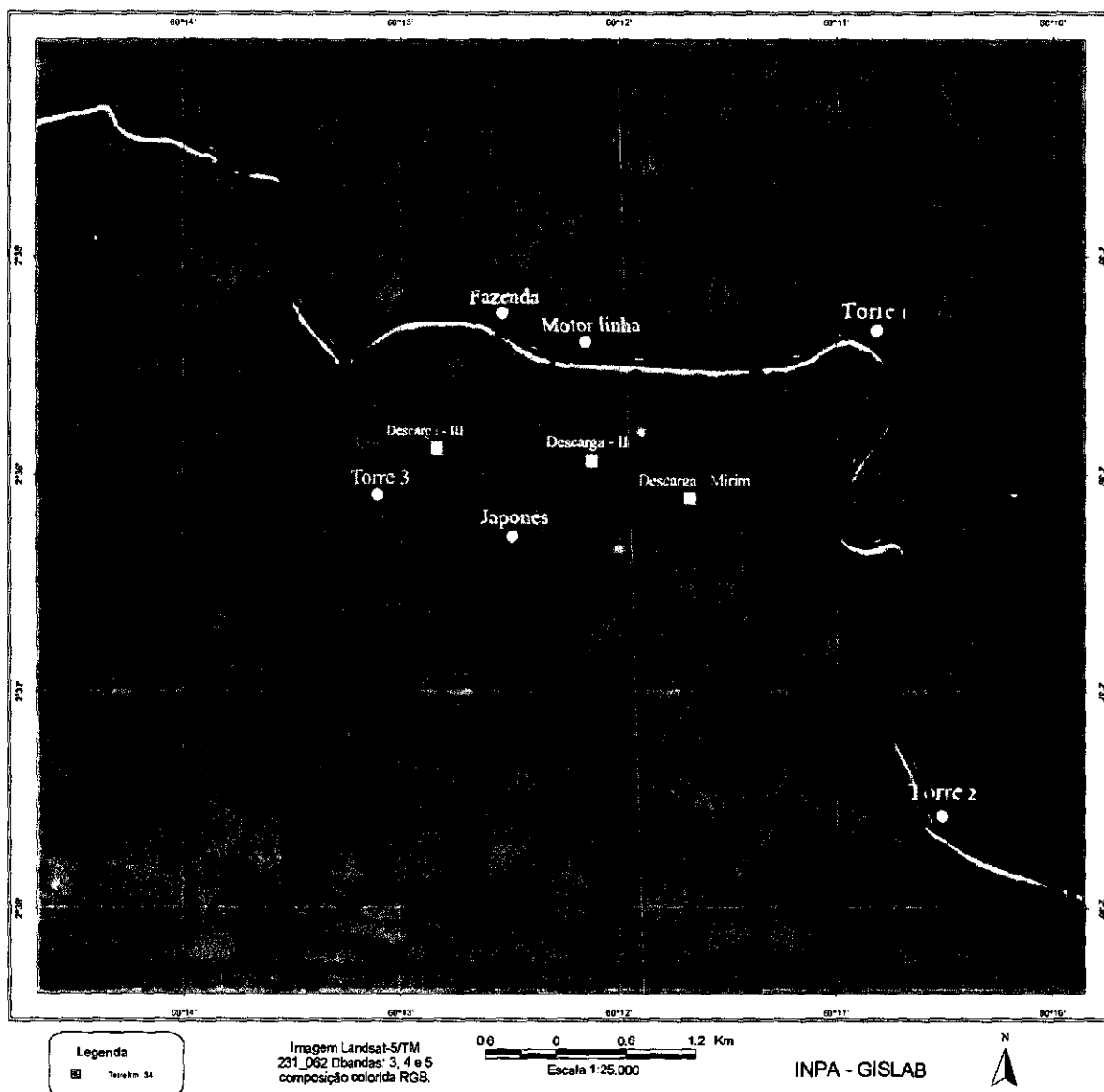


Figura 3 – Localização dos pluviômetros na bacia Asu

Dados de Altura

Os dados de altura dos igarapés em ambas as bacias, obtidos a cada 30 minutos utilizando sensores Doppler e de pressão, foram comparados com os valores diários obtidos da medição com a régua. A coerência entre ambas as séries

de dados é verificada através da correlação dos mesmos. Diferente dos sensores, a régua por ser um instrumento de medição manual, não possui um horário fixo para a coleta de dados, ou seja, as medições podem ocorrer com espaços de tempo alternados. Foi preciso, portanto, aproximar os horários dos valores obtidos pelos sensores com os valores da régua.

Dados de Vazão

As alturas obtidas com os sensores foram correlacionadas com as alturas medidas na régua. Esta correlação foi utilizada para transformar estes valores em equivalentes da régua. Isto permitiu a utilização das curvas chaves, obtidas por Trancoso (2006) e Quartas (2007), para a obtenção dos valores de vazão correspondente em ambas as bacias (Mirim e Colosso).

Considerando os dados de vazão e de precipitação na bacia Mirim e da bacia Colosso, foram escolhidos eventos chuva-vazão, representados através de hidrogramas, gráficos que relaciona a vazão obtida com seu respectivo tempo. Por meio desse gráfico podem-se analisar os efeitos da precipitação ocorrida e suas conseqüências no rio.

A caracterização dos tempos de resposta de uma bacia a um determinado evento de precipitação consideram apenas a resposta rápida ou fluxo direto. Para isto é necessário então realizar a separação do hidrograma em dois componentes, o fluxo direto, associado ao evento de precipitação em si, e o fluxo de base, associado com o aporte subterrâneo. Tucci (1993) apresenta três métodos diferentes para esta separação do qual foi escolhido o de metodologia mais simples. O método escolhido consiste em determinar uma reta que liga o ponto que representa o início da ascensão (ponto A) com o ponto que representa o fim da recessão (ponto B) como mostrado na figura 4. A área abaixo dessa reta representa o fluxo de base. Uma vez determinado, o mesmo é descontado das vazões observadas com o intuito de se obter apenas a resposta direta que corresponde com o evento de precipitação observado.

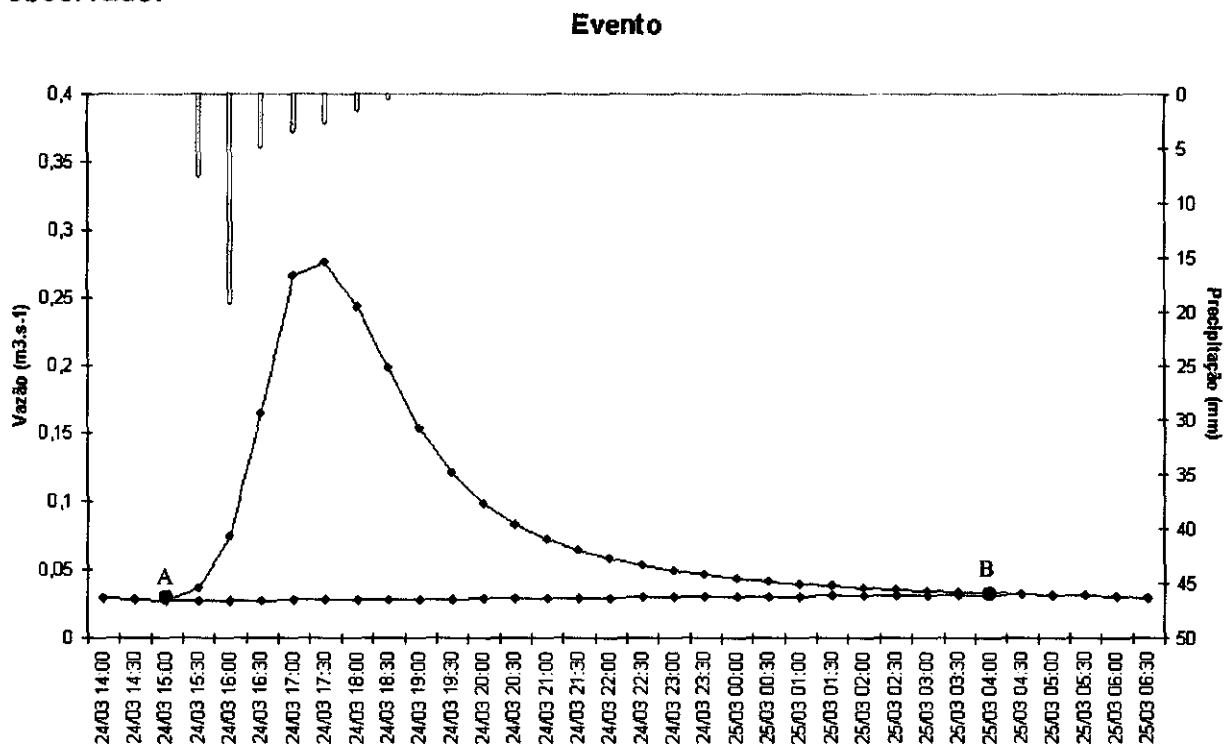


Figura 4 – Escoamento Superficial

No hidrograma de fluxo direto é possível identificar três componentes principais, associadas com diferentes estágios da resposta hidrológica da bacia:

Ascensão, que é o aumento do nível do igarapé como resposta à precipitação e está diretamente relacionado, entre outros fatores, com a intensidade da mesma.

Região do Pico, região do hidrograma em que a vazão atinge seu valor máximo e inicia o processo de inflexão.

Recessão, é a região do hidrograma onde há uma diminuição da vazão após o pico.

As relações entre a chuva e o fluxo direto correspondente podem ser analisadas levando em conta os tempos característicos na resposta da bacia (Fig. 5). Estes tempos caracterizam o hidrograma do evento e o comportamento da bacia. Foram determinados os seguintes tempos característicos de cada evento, de acordo com o proposto por Tucci (1993):

- t_l (Tempo de Retardo): é o tempo entre o centro de gravidade do hietograma e o centro de gravidade (C_g) do hidrograma
- t_p (Tempo de Pico): é o tempo entre o centro de gravidade da precipitação e o tempo de pico.
- t_c (Tempo de Concentração): é o tempo entre o fim da precipitação e o tempo de pico do hidrograma.
- t_m (Tempo de Ascensão): é o tempo entre o início da chuva e o tempo de pico.
- t_b (Tempo de Base): é o tempo entre o início da precipitação e o fim do hidrograma, ou seja quando o igarapé volta as condições iniciais antes da ocorrência da precipitação.
- t_e (Tempo de Recessão): é o tempo que a vazão leva para atingir o ponto B (fim da recessão), como apresentado na figura 5.

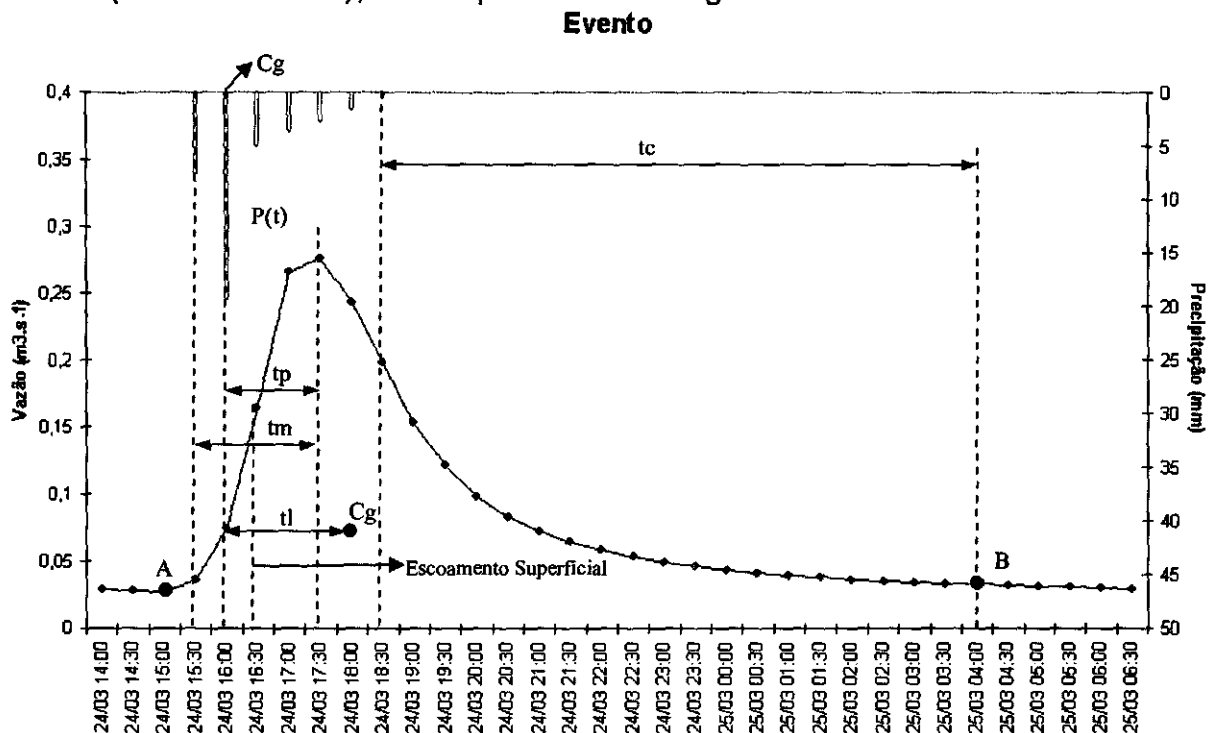


Figura 5 - Precipitação - Vazão

Com as análises dos tempos característicos, foi possível obter uma série de dados estatísticos das bacias Mirim e Colosso permitindo a comparação entre esses valores. Os eventos analisados foram selecionados entre aqueles de forma mais homogênea, unimodais, durante o ano de 2006.

3.3 Métodos Sintéticos

Trata-se de métodos empíricos que estabelecem formulações para a obtenção de parâmetros característicos da resposta hidrológica a partir de informações que são facilmente coletadas, como área da bacia, longitude do canal, etc. Estes parâmetros são obtidos a partir de dados coletados em bacias instrumentadas, e são utilizados na obtenção de informações da resposta hidrológica em bacias não instrumentadas. Cada um dos métodos existentes foi desenvolvido para certos grupos de bacias, não se aplicando exclusivamente a todas. Em alguns casos é possível efetuar um ajuste nas constantes matemáticas para que esta possa se adaptar a realidade da bacia estudada.

Foram aplicados diferentes métodos para a determinação de tempos característicos da resposta hidrológica. Foram considerados os métodos de Kirpich (1940), Izzard (1946), e Serviço de Conservação de Solos (SCS)(1975), na determinação do tempo de concentração, e o método de Snyder (1938) para a determinação de tempo de pico.

- Kirpich (1940): $T_c = 0.0078 \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0.383}$
- Izzard (1946): $T_c = \frac{41.025(0.0007i + c)L^{0.333}}{S^{0.333}i^{0.667}}$
- SCS (1975): $T_c = \frac{L^{0.8} \left[\frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7}}{190S^{0.5}}$

Onde T_c é o tempo de concentração, L é a comprimento da bacia, S a inclinação do igarapé, i a intensidade da chuva, c o coeficiente de retardo e CN que é o numero de curva.

- Snyder (1938): $t_p = \frac{Ct(L * L_{cg})^{0.3} + \left(tr - \frac{Ct(L * L_{cg})^{0.3}}{5.5} \right)}{4}$

Onde t_p é o tempo de concentração, Ct é um coeficiente que varia de 1,35 a 1,65, L é a comprimento da bacia, L_{cg} é a distancia entre o exutorio e o ponto de gravidade da bacia, medida sobre o canal principal, e tr é o tempo de retardo.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Através do método de duplas massas acumuladas foi possível identificar erros nos valores da precipitação da bacia Mirim causados principalmente por pluviômetros entupidos, geralmente por folhas. A comparação com os dados dos funis permitiu a identificação deste tipo de problemática, corrigindo e melhorando a consistência dos dados, como mostrado da figuras 06 ate a figura 08. A comparação dos valores corrigidos com os observados nos funis (Fig. 09) mostra ainda a existência de discrepância entre os mesmos. Os altos valores positivos de erros podem ser explicados por deficiência na coleta de chuva do funil (derramamento, evaporação, etc.). No caso das diferenças negativas, as mesmas são influenciadas

por lacunas na informação dos pluviômetros. No caso das precipitações da bacia Colosso, a existência de apenas um pluviômetro limitou o estudo de qualidade dos dados a verificação de lacunas na informação e de valores inconsistentes nas series históricas.

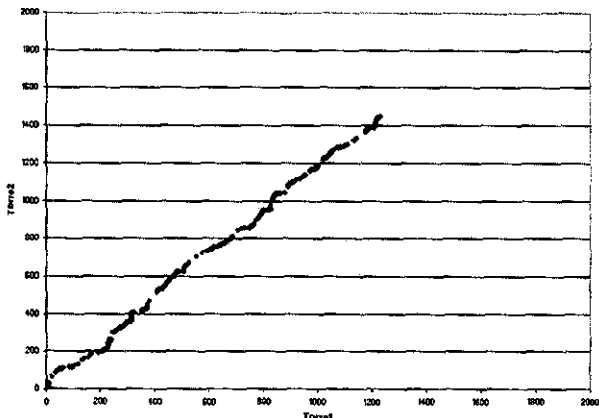


Figura 6 – Comparação entre os Pluviômetros Torre 1 e Torre 2 da bacia Mirim no ano de 2006

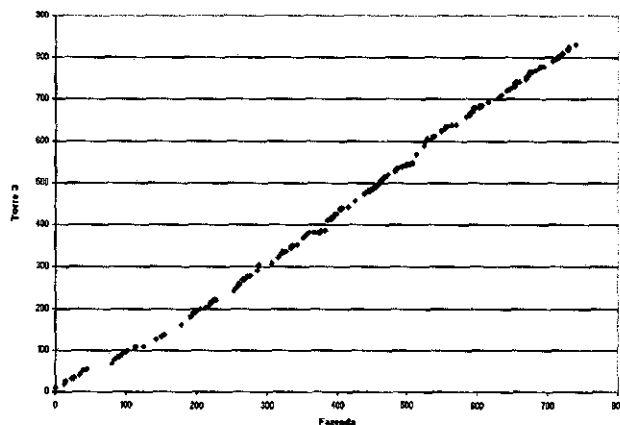


Figura 7 – Comparação entre os Pluviômetros Torre 3 e Fazenda da bacia Mirim no ano de 2006

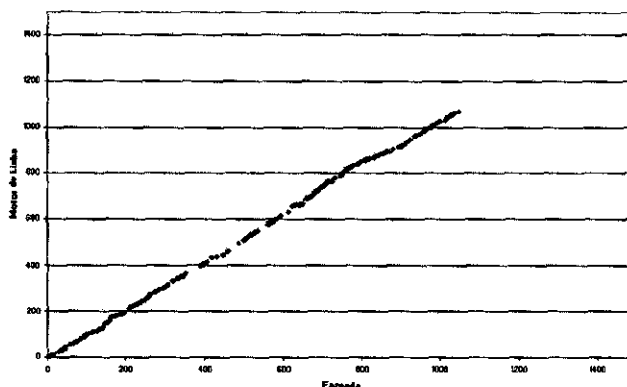


Figura 8 – Comparação entre os Pluviômetros Motor de Linha e Fazenda da bacia Mirim no ano de 2006

Erros - Precipitação vs. Funil

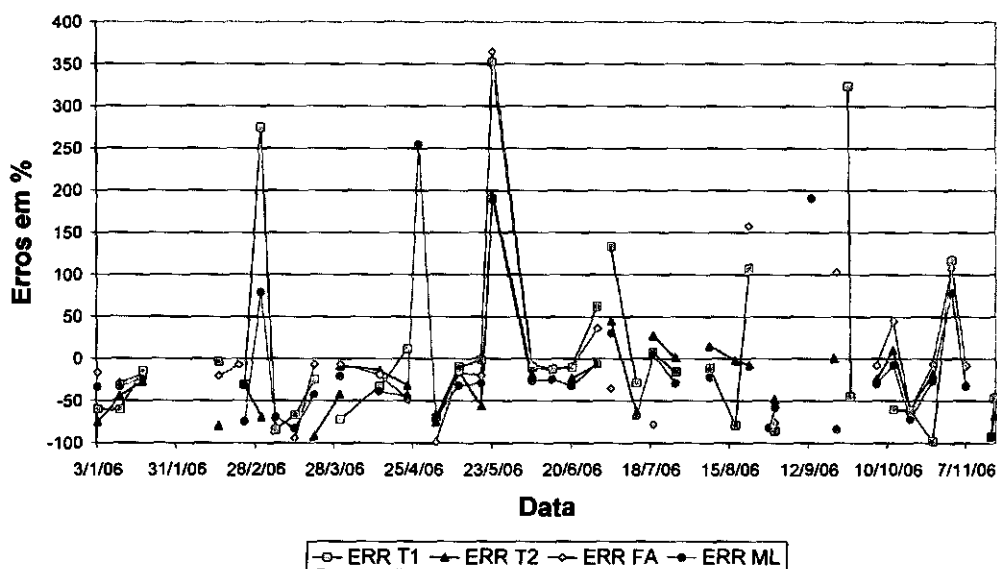


Figura 9 – Erros obtidos na comparação entre os dados de precipitação com os funis da bacia Mirim no ano de 2006

As correlações entre os dados de altura do igarapé e os valores diários obtidos da medição com a régua da bacia Mirim está representado na figura 10. Através destas correlações é possível identificar erros ou variações, por exemplo, quando durante a medição são detectadas falhas nos instrumentos, correções nos aparelhos ou mudanças físicas no igarapé. A existência de tais variações levou a necessidade de considerar diferentes períodos para as correlações. No ano de 2006 na bacia Colosso foi preciso separar as correlações em dois períodos como representado nas figuras 11 e 12.

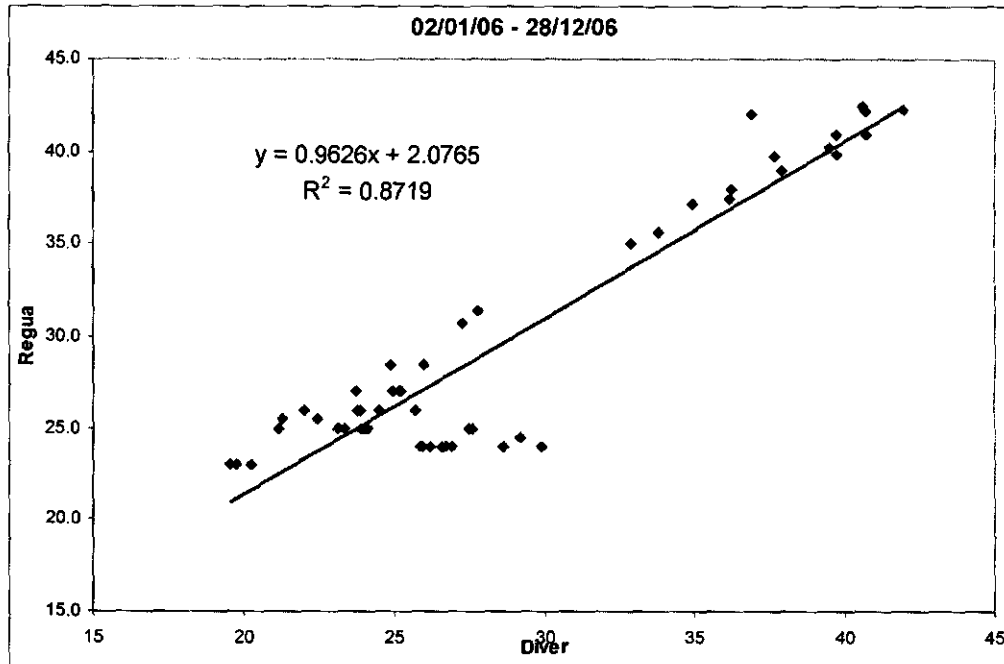


Figura 10 – Bacia Mirim – Sensor de Pressão vs. Régua

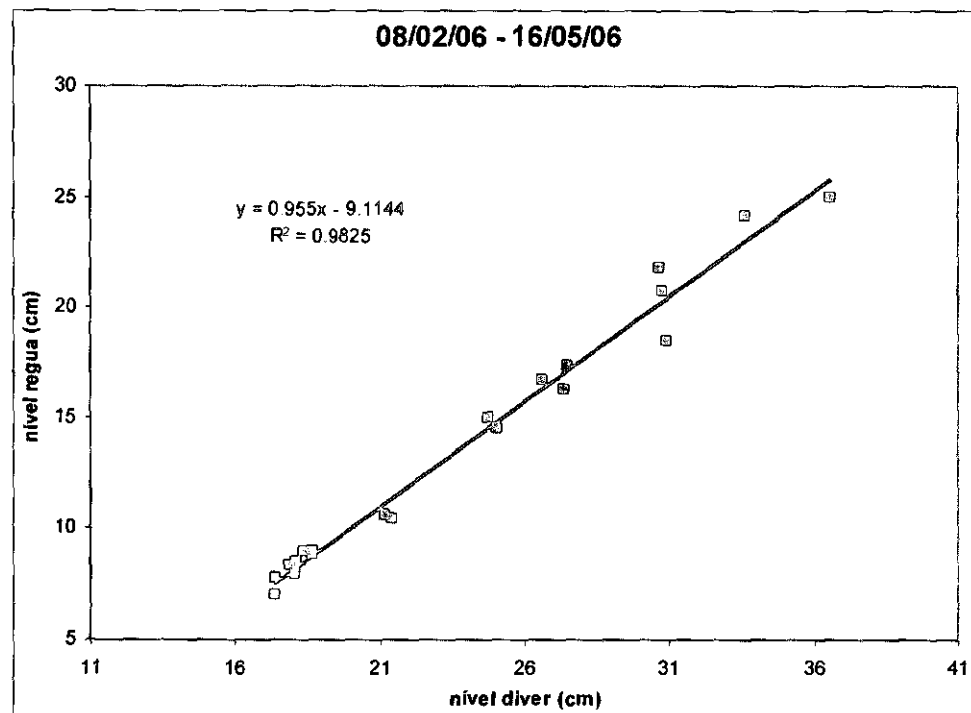


Figura 11 – Bacia Colosso – Sensor de Pressão vs. Régua (Período 01)

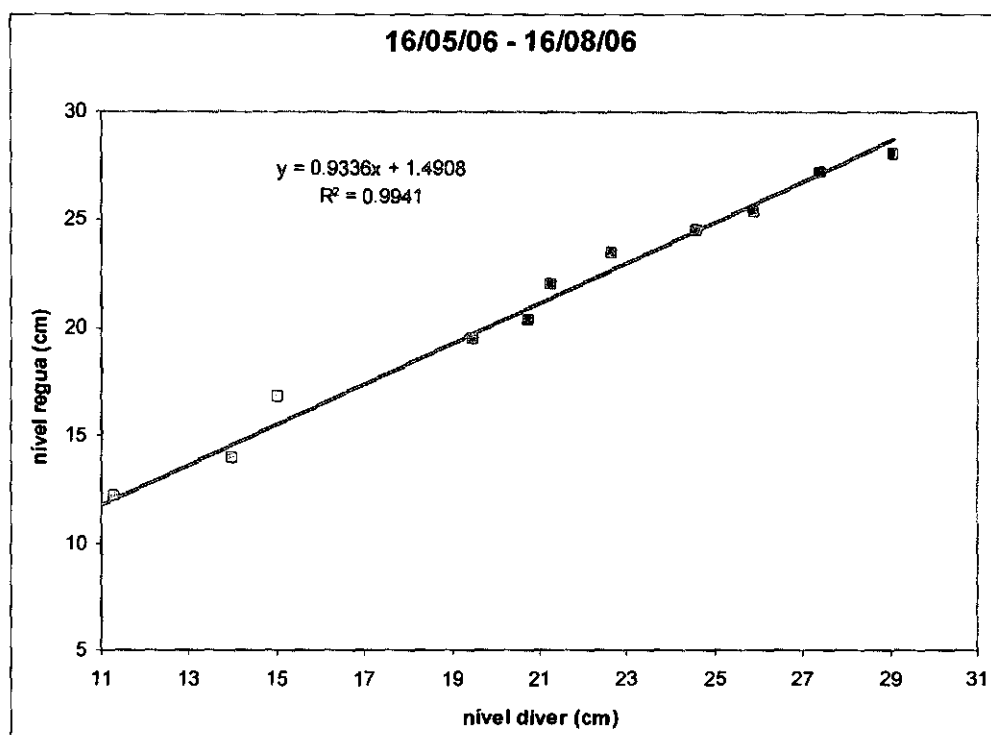


Figura 12 – Bacia Colosso – Sensor de Pressão vs. Régua (Período 02)

Em ambas as bacias foram identificados os eventos de chuva-vazão utilizando as curvas chaves aplicadas aos valores de altura obtida através das correlações anteriores. Utilizando a metodologia proposta foram confeccionados os hidrogramas de fluxo direto e identificados os tempos característicos de cada um deles. As análises estatísticas dos tempos característicos realizados na bacia Mirim mostraram que a bacia possui uma resposta inicial rápida a precipitação e uma lenta recessão, ou seja, possui um longo tempo entre o momento em que a vazão do rio atinge seu valor mais alto e retorna ao nível inicial, comprovado pelos tempos de concentração e base (Tabela 1 e Figura 13). Nas análises feitas na bacia Colosso, percebe-se que o tempo de ascensão e o tempo de concentração são curtos, mostrando que a bacia possui uma rápida resposta aos eventos de precipitação (Tabela 1 e Figura 13).

Tempo	Dados Estatísticos (hr)	
	Média – Bacia Mirim	Média – Bacia Colosso
<i>Concentração</i>	14.43	9,00
<i>Recessão</i>	14.54	7.39
<i>Base</i>	16.71	9.20
<i>Pico</i>	1.64	2.96
<i>Retardo</i>	3.03	3.29
<i>Ascensão</i>	2.21	1.762
<i>Chuva</i>	2.89	2.262
<i>Chuva Acumulada</i>	25.09	24.96
<i>Intensidade da Chuva</i>	9.49	14.17

Tabela 1 – Dados Estatísticos da Bacia Mirim e da Bacia Colosso

Mirim vs. Colosso - 2006

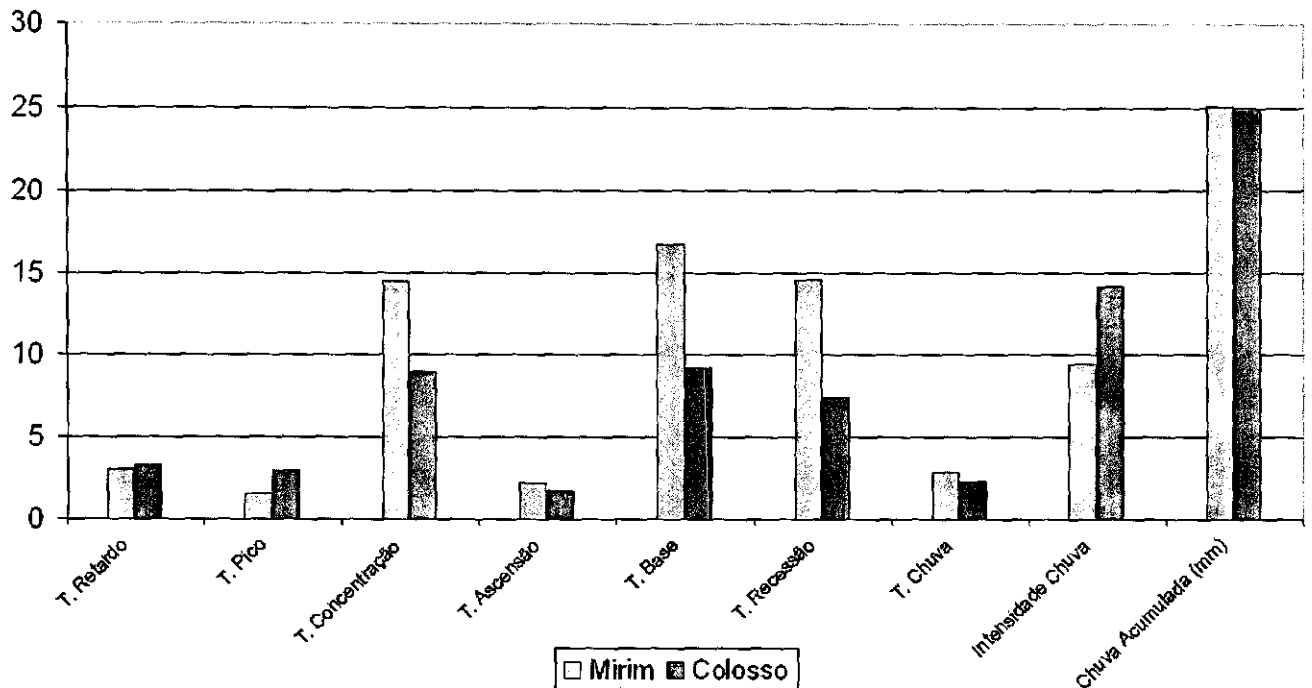


Figura 13 – Gráfico comparativo entre as Bacias Mirim (2006) e Colosso (2005)

Na aplicação dos métodos sintéticos, os métodos de Kirpich e SCS, subestimaram o tempo de concentração da bacia Mirim, enquanto que o de Izzard superestimou (Fig. 14). O tempo de pico obtido por meio do método de Snyder, foi ligeiramente menor que a média observada (Fig. 14), mas permaneceu no intervalo do desvio. O valor do Coeficiente de Retardo utilizado neste método foi de 1.2329, menor que o sugerido na literatura, que varia de 1,35 a 1,65.

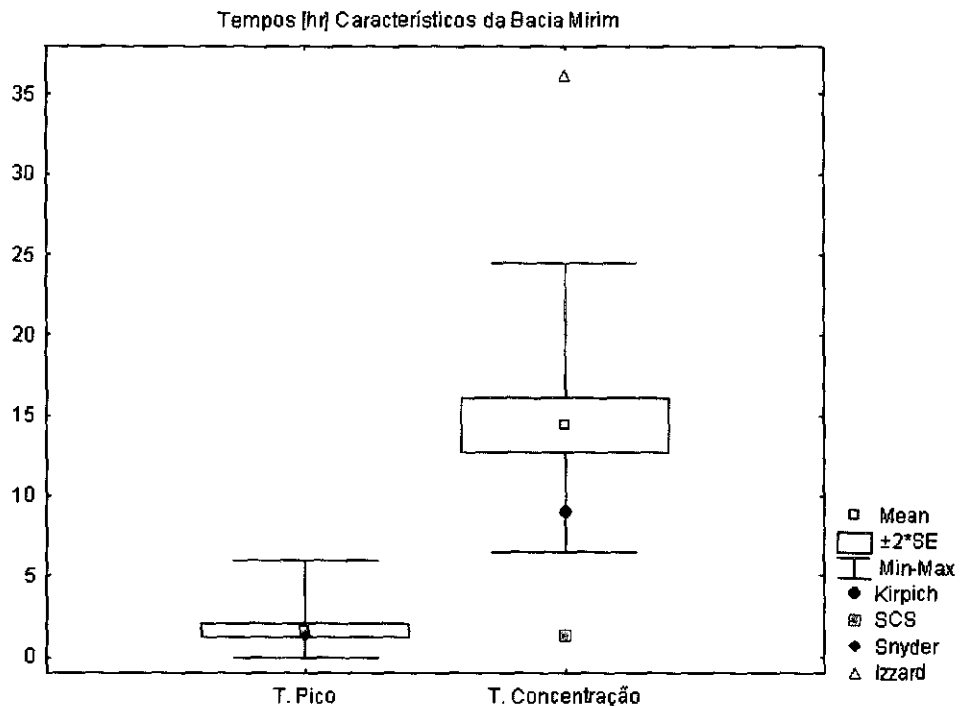


Figura 14 – Aplicação dos métodos sintéticos na bacia Mirim para determinar o Tempo de Concentração e o Tempo de Pico

Por outro lado, na bacia Colosso, os métodos de Kirpich, Izzard e SCS subestimaram o tempo de concentração da bacia, enquanto que o método de Snyder, foi menor que a média observada (Fig. 15). O valor do Coeficiente de Retardo, na metodologia de Snyder, ajustado na bacia foi de 3.0656.

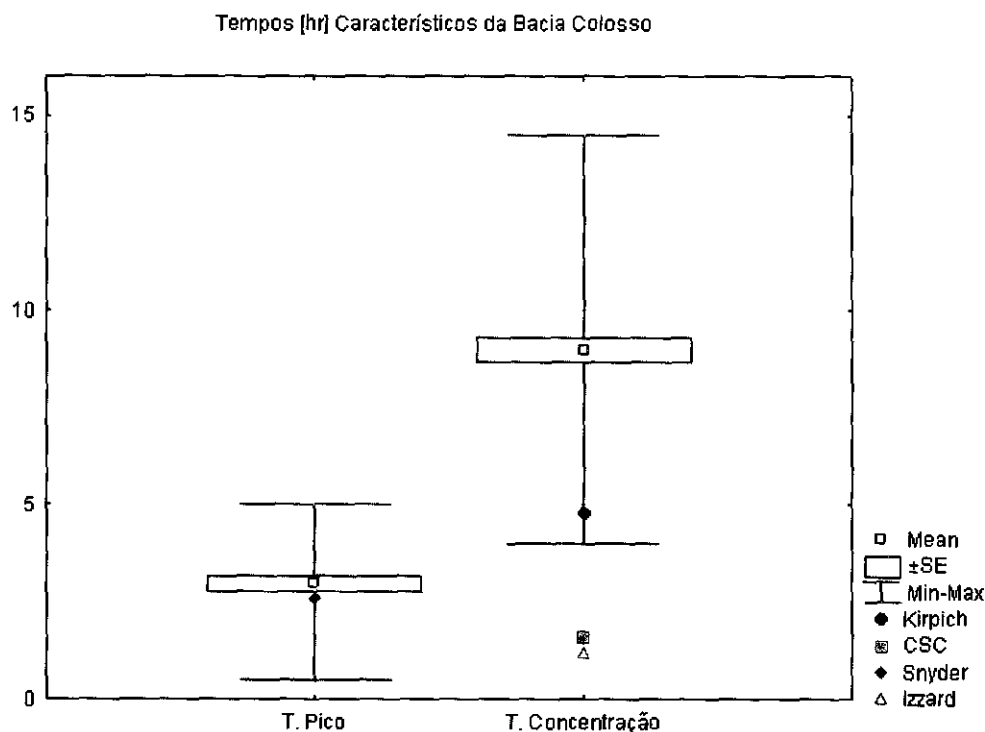


Figura 15 – Aplicação dos métodos sintéticos na bacia Colosso para determinar o Tempo de Concentração e o Tempo de Pico

5 PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

O trabalho desenvolvido neste projeto foi aceito para participação e publicação de seu conteúdo no XV Congresso Brasileiro de Meteorologia que ocorrerá de 24 a 29 de agosto de 2008.

6 CONCLUSÃO

Na análise dos dados de chuva da bacia Mirim foram observados alguns dados incoerentes devidos principalmente a entupimento dos pluviômetros. Estes foram ajustados tornando-os consistentes, permitindo a identificação dos eventos chuva-vazão. Na bacia Colosso a disponibilidade de apenas 1 pluviômetro limitou a análises de qualidade a detecção de falhas e de períodos de mal funcionamento do pluviômetro.

Os estudos realizados permitem concluir que ambas as bacias apresentam tempos de ascensão similares. O tempo de pico na bacia mirim foi menor que o da bacia colosso, mas esta discrepância pode ser um resultado do espaço de tempo utilizado nas observações da descarga na mesma. Os hidrogramas na bacia Mirim apresentam um tempo de base longo com uma recessão estendida em comparação com a bacia Colosso, o que é devido ao efeito regulador da floresta, que torna maior o tempo de permanência da água na bacia.

Quanto aos métodos sintéticos, foi possível observar que sua aplicação para a obtenção do tempo de pico necessita de ajustes em seus coeficientes, pois os

resultados obtidos não corresponderam com as observações. O método de Snyder, cujos coeficientes foram ajustados a partir das observações, foi o que mais se adequou no caso da bacia Mirim, e o que mais se aproximou do resultado obtido na bacia Colosso.

7 TRABALHOS FUTUROS

O trabalho apresentado compara os processos hidrológicos numa micro-bacia de floresta com os observados na bacia de pastagem na mesma região. Com o intuito de estudar os processos que diferenciam as respostas hidrológicas sob diferentes condições do uso do solo, se pretende continuar a desenvolver estudos utilizando modelagem numérica.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. *Hydrology Handbook*. 2.ed. New York: ASCE, 1996.
- ANDRÉASSIAN, V.: *Waters and forests: from historical controversy to scientific debate*. Journal of Hydrology, V. 291, I. 1-2, p. 1-27, 2004.
- BOSCH, J.M., Hewlett, J.D., *A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration*. Journal of Hydrology, v.55, p.3-23, 1982.
- BROWN, A.E., ZHANG, L., McMahon, T.A., Western, A.W., Vertessy, R.A. *A review of paired catchments studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation*. Journal of Hydrology, v.310, p.28-61, 2005.
- BRUIJNZEEL, L. A.: *Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?* Agriculture, Ecosystems & Environment, v.104, p.185-228, 2004.
- CUARTAS, L. A., *Modelagem Hidrológica de uma Micro-Bacia em Floresta não Perturbada da Amazônia Central*, INPE, São José dos Campos, SP, 2008.
- MARENGO, J. A. *Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin*. Theoretical and Applied Climatology, V. 78, p.79-96, 2004.
- SALATI, E., VOGUE, P.B. *Amazon basin: A system in equilibrium*. Science, v.225, p.129-138, 1984.
- TRONCOSO, Ralph: *Mudanças na cobertura da terra e alterações na resposta hidrológica de bacias hidrográficas na Amazônia*. Dissertação de Mestrado INPA/UFAM – Manaus- 2006.
- TUCCI, Carlos E.M. *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, Editora da Universidade:ABRH:EDUSP, 1993.
- WIGMOSTA, M.S., L. Vail, and D. P. Lettenmaier, 1994: *A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain*, Wat. Resour. Res., 30, 1665-1679.