



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



**ESTUDAR AS DIFERENTES COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO E SUA
VARIABILIDADE NUMA MICROBACIA DE FLORESTA NA BACIA AMAZONICA**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)

Caio Pages Camargo (USP, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: caiopages@hotmail.com

Daniel Andrés Rodriguez (CCST/INPE, Orientador)

E-mail: daniel.andres@inpe.br

COLABORADOR

Elisa de Oliveira Giornes (CCST/INPE)

E-mail: elisa.giornes@inpe.br

Julho de 2017

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome: **Caio Pages Camargo**

Local de trabalho: **DGI/INPE**

Título do Projeto: **Estudar as diferentes componentes do balanço hídrico e sua variabilidade numa microbacia de floresta na bacia amazônica.**

Tipo de bolsa: **PIBIC-IC**

Período: **Abril/2017 – Julho/2017**

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre as variações dos processos hidrológicos de uma microbacia instrumentada, localizada na Floresta Amazônica, próximo a cidade de Manaus. Dados pluviométricos foram analisados, qualificados e corrigidos através da realização de testes de duplas massas. Os dados de precipitação estudados são correspondentes a dados coletados de 6 pluviômetros, no período dos anos de 2009 até 2013.

As informações referentes à bacia tiveram que passar por diversas etapas para sua qualificação, devido à necessidade de que os dados sejam adequadamente organizados e corrigidos. Através de gráficos de duplas massas, tornou-se possível a identificação de algumas diferenças entre os dados de precipitação dos pluviômetros, que podem ter sido originadas devido a alguma interferência no processo de armazenamento da chuva. Com isso, são estudados e corrigidos esses possíveis erros nos dados. Para melhor identificar e assegurar a coerência dos dados, também foi necessário a realização de interpolações com estes mesmos dados, gerando médias em intervalos de 30 minutos e também médias diárias e mensais entre todos os pluviômetros estudados em cada ano. Finalmente, as informações pontuais de precipitação foram interpolados na área da bacia, obtendo-se uma série histórica de precipitações médias para o estudo da variabilidade climática.

Os diversos processos que podem atuar sobre o meio natural envolvem diferentes escalas. A escala temporal depende de condições da variabilidade climática. A variabilidade temporal sazonal, que define a ocorrência de períodos úmidos e secos em um ano, e a variabilidade interanual que realiza esta análise entre alguns anos, também foram estudadas.

Dados de umidade do solo e de nível de lençol freático, correspondentes a alguns períodos entre os anos de 2006 a 2016, também foram estudados. Esses dados também tiveram que passar por etapas de formatação e qualificação, através da criação de gráficos. Dessa forma, tornou-se possível identificar melhor os períodos que necessitavam de alguma correção realizando uma análise sobre esses possíveis erros encontrados. Com o estudo de todos esses dados, contribui-se para uma melhor análise sobre o comportamento hidrológico da microbacia.

SUMÁRIO

(PIBIC/INPE/CNPq)	1
1. Introdução	1
2. Objetivos	1
3. Material e Métodos	1
3.1. Dados de precipitação	2
3.2. Análise dos dados	2
3.3. Interpolação	4
3.4. Variabilidade temporal.....	4
3.5. Umidade do solo	5
3.6. Nível freático	6
4. Resultados e Discussão	6
4.1. Gráficos de duplas massas	6
4.2. Dados interpolados e variabilidade climática	8
4.3. Gráficos de umidade solo e nível freático.....	11
5. Considerações Finais	14
6. Referências Bibliográficas	15

Lista de Figuras

Figura 1 – Localização da microbacia estudada. Fonte: Cuartas, 2007.....	2
Figura 2 – Localização dos pluviômetros da microbacia Asu. Fonte: Ferreira, 2007.....	3
Figura 3 – Localização dos tubos de umidade do solo. Fonte: Tomasella, 2008.....	5
Figura 4 – Comparação entre os pluviômetros Fazenda e Torre 3 em 2009.....	7
Figura 5 – Comparação entre os pluviômetros Torre 1 e Torre 2 em 2009.....	7
Figura 6 – Comparação entre os pluviômetros Fazenda e Motor Linha em 2010, 2011, 2012 e 2013 respectivamente.....	8
Figura 7 – Interpolação de dados diários dos anos de 2009-2013.....	9
Figura 8 – Variabilidade mensal dos anos de 2002-2005 e 2009-2013.....	9
Figura 9 – Variabilidade anual dos anos de 2002-2013, referente aos meses de Janeiro até Abril.....	10
Figura 10 – Variabilidade interanual dos anos de 2002-2005 e 2009-2013.....	11
Figura 11 – Umidade do solo em três pontos representativos do platô (Tubo 1), vertente (Tubo 7) e ecótono (Tubo13).....	12
Figura 12 – Nível do lençol freático de 2010 a 2016.....	13
Figura 13 – Gráficos das vazões dos anos 2003-2005 e 2007.....	14

1. Introdução

O estudo observacional em pequenas bacias 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). Os grupos de hidrologia do INPA e INPE vem realizando desde 2001 o monitoramento hidrometeorológico numa microbacia na região Amazônica perto de Manaus. Com as informações obtidas nela estão sendo desenvolvidos diversos estudos sobre a hidrologia na floresta Amazônica (Tomasella et al., 2007), efeitos do desmatamento na hidrologia (Trancoso, 2006, Ferreira, 2007) e sobre os efeitos da escala nos processos hidrológicos (Tomasella et al., 2007; Cuartas et al., 2007).

O trabalho proposto visa estudar os processos hidrológicos em bacias da floresta Amazônica, focalizando a variabilidade dos componentes do ciclo hidrológico. Para isto, a organização da informação obtida em campo dentro de uma base de dados ampliará a capacidade de descrição e de estudo dos processos envolvidos. As informações coletadas permitem realizar análises em diferentes escalas temporais, desenvolvendo o conhecimento sobre os processos que afetam a resposta hidrológica da bacia.

2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise qualitativa de dados de precipitação, umidade do solo e de nível do lençol freático, estudando as variações decorrentes de processos hidrológicos, bem como os diferentes componentes do balanço hídrico, da microbacia hidrográfica Igarapé Asu, localizada na Amazônia.

3. Material e Métodos

A microbacia estudada é afluente do Rio Cuieiras e situa-se na Amazônia Central, na Reserva Biológica do Rio Cuieiras. Na região onde a microbacia Igarapé Asu é localizada, o clima é típico de uma floresta tropical úmida e não perturbada. Abrange uma área de 6,56 Km², e tem sido monitorada quanto às diferentes variáveis hidrológicas desde 2001. A figura 1 demonstra a localização da microbacia.

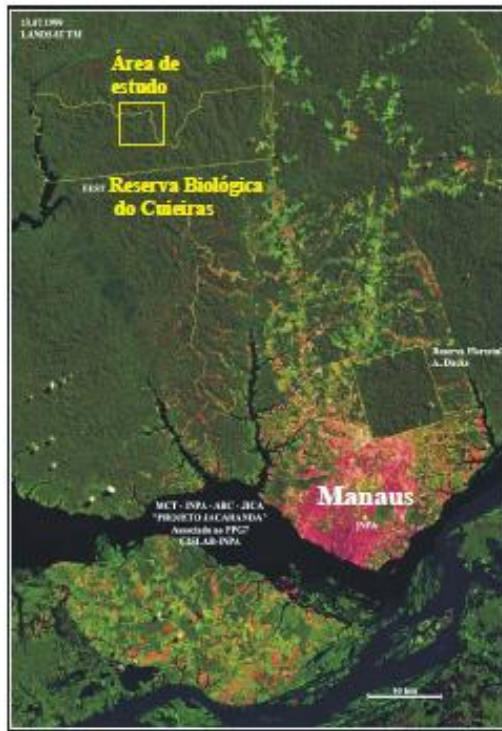


Figura 1 - Localização da microbacia estudada.
 Fonte: Cuartas, 2007, p. 56

3.1. Dados de precipitação

Os dados de precipitação utilizados na elaboração deste trabalho foram coletados por 6 pluviômetros que ficam ao entorno da microbacia. Os pluviômetros registram o valor de água precipitada no local, fornecendo uma base de dados que é armazenada e disponibilizada para que sejam analisados e estudados.

Para o desenvolvimento deste estudo, torna-se necessário uma qualificação prévia dos dados de precipitação obtidos. Os dados estudados são correspondentes aos períodos dos anos de 2009 a 2013. Esses dados coletados não possuem uma formatação padrão, o que dificulta a análise dos mesmos. Portanto, existe a necessidade de adequar eles a uma formatação única. Para realizar essa formatação, bem como o processamento dos dados, foram desenvolvidos programas de computador. Após o processamento, foram realizadas análises para certificar a qualidade dos dados.

3.2. Análise dos dados

Para que as informações sobre a região da bacia tenham consistência, foi necessário a produção de relatórios sobre os dados. Para cada pluviômetro, se têm um

conjunto de arquivos de dados. Os conjuntos de dados foram processados por programas e scripts que realizaram a listagem, ordenação e formatação dos dados brutos, gerando séries de precipitação acumulada em intervalos de 30 minutos, as quais foram posteriormente analisadas através da confecção de gráficos de duplas massas. Esse método de duplas massas consiste em realizar uma comparação da precipitação acumulada medida por pluviômetros próximos. De acordo com a figura 2, pode-se identificar a localização de cada um dos pluviômetros estudados, sendo eles: Fazenda, Motor Linha, Torre 1, Torre 2, Torre 3 e Japonês.



Figura 2 – Localização dos pluviômetros da microbacia Asu.

Fonte: Ferreira, 2007, p. 9

As análises dos dados foram realizadas levando em consideração que as séries de dados pluviométricas devem possuir confiabilidade. Inconsistências podem ocorrer devido a eventuais problemas com os aparelhos de registro. Por isso, as análises

desenvolvidas foram baseadas em comparações entre dados de precipitação das estações estudadas. Essas comparações são feitas com o acumulado de chuva de cada pluviômetro em determinado período, e são apresentadas por gráficos. Os dados no gráfico devem ficar dispostos de maneira com que estejam tendendo a uma reta ascendente. Nos períodos em que o gráfico se afasta do desejado, são identificados, estudados e corrigidos os possíveis erros dos dados.

3.3. Interpolação

Os dados dos pluviômetros foram interpolados espacialmente para obter o volume média de precipitação na bacia. O método de interpolação utilizado foi o de inverso da distância, considerando também a altura topográfica. Para realizar a interpolação, foi necessário que as análises de qualidade dos dados já estivessem completas. Assim, os dados analisados e corrigidos foram agregados em intervalos de 30 minutos, diários, mensais e anuais.

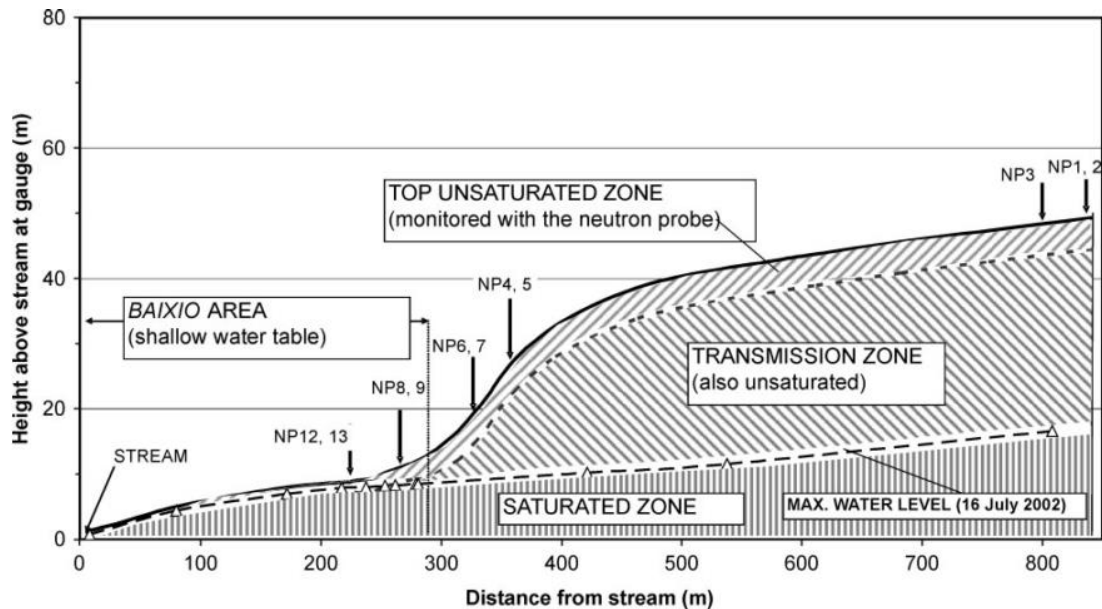
Através da interpolação, torna-se possível analisar melhor a quantidade de chuva ao redor da microbacia, obtendo um valor médio entre os pluviômetros. Para melhor identificar o acumulado de chuva, também foram produzidos gráficos com as médias mensais e anuais.

3.4. Variabilidade temporal

Através da variabilidade temporal, que depende de condições da variabilidade climática, foi possível observar os processos que atuam e influenciam o meio natural, envolvendo diversas escalas. A variabilidade temporal sazonal torna possível a identificação da ocorrência de períodos úmidos e secos durante o período de um ano. Com a variabilidade interanual, identifica-se a ocorrência desses períodos úmidos durante um período maior de tempo, que seria mais de um ano. Gráficos também foram necessários e fundamentais na contribuição de análises sobre o comportamento da microbacia.

3.5. Umidade do solo

Foi necessário a realização de análises dos dados de umidade do solo através de gráficos que foram produzidos. Esses dados são correspondentes a dados de 11 tubos que ficam localizados ao redor da microbacia, que são representados na figura 3, onde os tubos NP1, NP2 e NP3 ficam no platô, NP4, NP5, NP6, NP7, NP8 e NP9 ficam na



vertente, enquanto que NP12 e NP13 ficam no ecótono. Cada tubo, fica na terra a um nível de profundidade diferente, e todos eles possuem dados dos anos de 2006 a 2014. Para cada tubo, foi confeccionado um gráfico, para que assim pudesse ser analisado melhor os dados obtidos em cada um deles.

Figura 3 – Localização dos tubos de umidade do solo.

Fonte: Tomasella, 2008

Os dados dos tubos que foram analisados são correspondentes a dados de água na camada, que é a quantidade de água que tem no solo resultante da interação da água com as partículas de solo, e de perfil de armazenamento, que são correspondentes a um somatório de todas as alturas de água para cada aumento de profundidade. Ao analisar estes dados, notou-se a necessidade de aplicar algumas correções nas incoerências encontradas.

3.6. Nível freático

O lençol freático é uma superfície que delimita a zona superficial do solo (zona de aeração) da zona de saturação. O lençol freático da microbacia foi monitorado em diversos pontos, e os dados coletados são correspondentes a dados de 8 piezômetros, no período dos anos de 2010 a 2016 (com exceção do ano de 2011). Estes dados também tiveram que ser formatados para que fosse possível realizar a confecção do gráfico.

4. Resultados e Discussão

Através dos estudos e das atividades realizadas, foram obtidos diversos resultados, que se estendem desde as análises dos dados brutos, à confecção de gráficos e relatórios para poder classificar os dados quanto às suas qualidades. Nos próximos tópicos, é descrito detalhadamente cada etapa desses processos, realizada para as diferentes variáveis hidrológicas estudadas.

4.1. Gráficos de duplas massas

Através da adequação e criação de programas para o processamento dos dados pluviométricos estudados, e posteriormente através das análises de duplas massas realizadas, foi possível identificar períodos com erros nos dados, decorrentes de eventuais problemas com os aparelhos de coleta da chuva. Para cada período em que algum erro foi identificado, analisou-se a possibilidade de correção de dados do pluviômetro ao qual havia incoerências. As correções dos dados que foram realizadas estão apresentadas nas figuras 4 – 6.

Os dados dispostos nos gráficos tiveram que ser corrigidos, sendo que em alguns pluviômetros foram necessárias mais correções em seus dados do que em outros. O pluviômetro “Fazenda” apresenta os melhores resultados em todos os anos, em comparação aos demais pluviômetros. A partir das figuras 4 e 5, que são do ano de 2009, é possível perceber que os resultados melhores estão apresentados na figura 4, onde a comparação é feita com o pluviômetro “Fazenda”.

A figura 6 apresenta algumas comparações entre os pluviômetros “Fazenda” e “Motor Linha”, que passaram por poucas correções, apresentando bons resultados nos quatro anos seguintes (2010 – 2013).

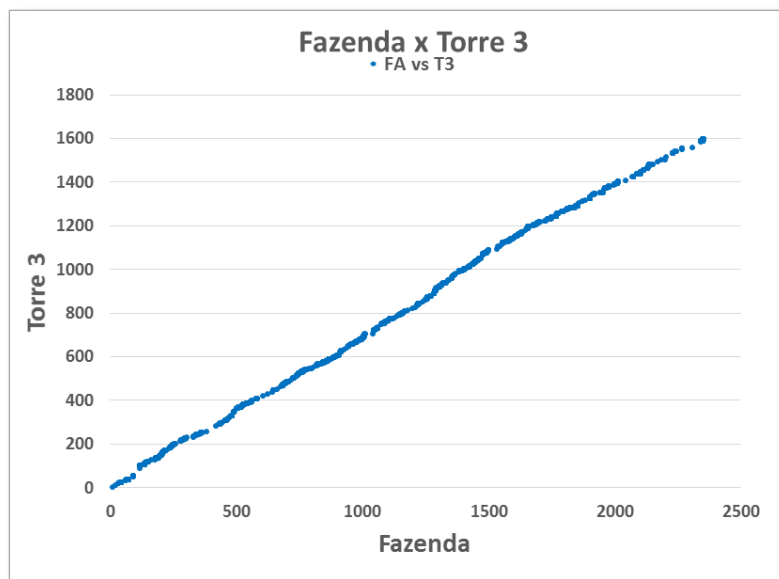


Figura 4 - Comparação entre os pluviômetros Fazenda e Torre 3 em 2009

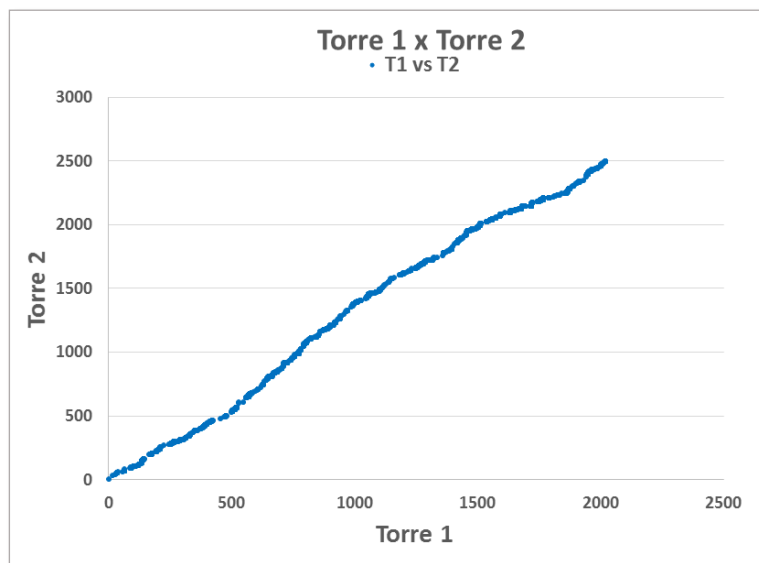


Figura 5 - Comparação entre os pluviômetros Torre 1 e Torre 2 em 2009

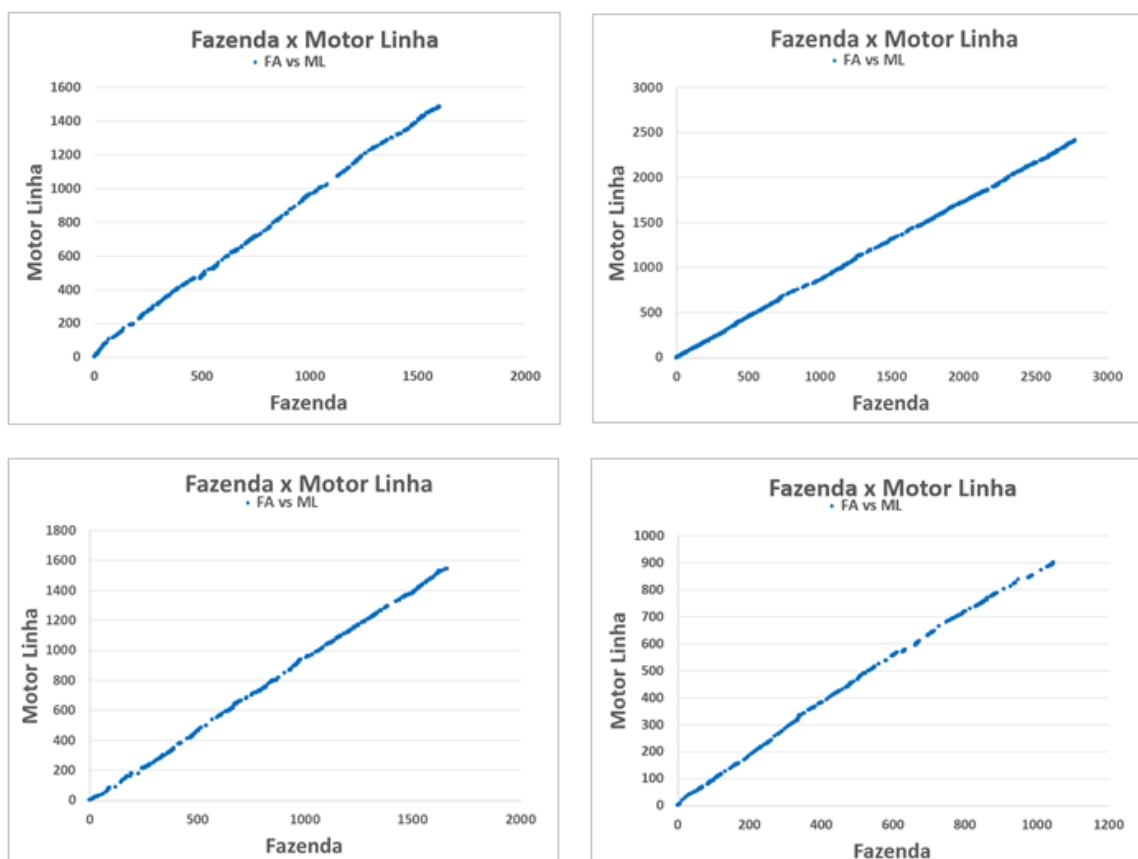


Figura 6 - Comparação dos pluviômetros Fazenda e Motor Linha em 2010, 2011, 2012 e 2013 respectivamente

4.2. Dados interpolados e variabilidade climática

Após a verificação de qualidade e correção de erros dos volumes precipitados registrados em cada pluviômetro, as series corrigidas foram utilizadas para obter valores de precipitação média na área da bacia através de uma interpolação espacial. A figura 7 apresenta as precipitações médias diárias na bacia dos anos de 2009-2013. Com base no número de dias com chuva, é possível perceber a intensidade e variabilidade da precipitação no local, em termos quantitativos e qualitativos.

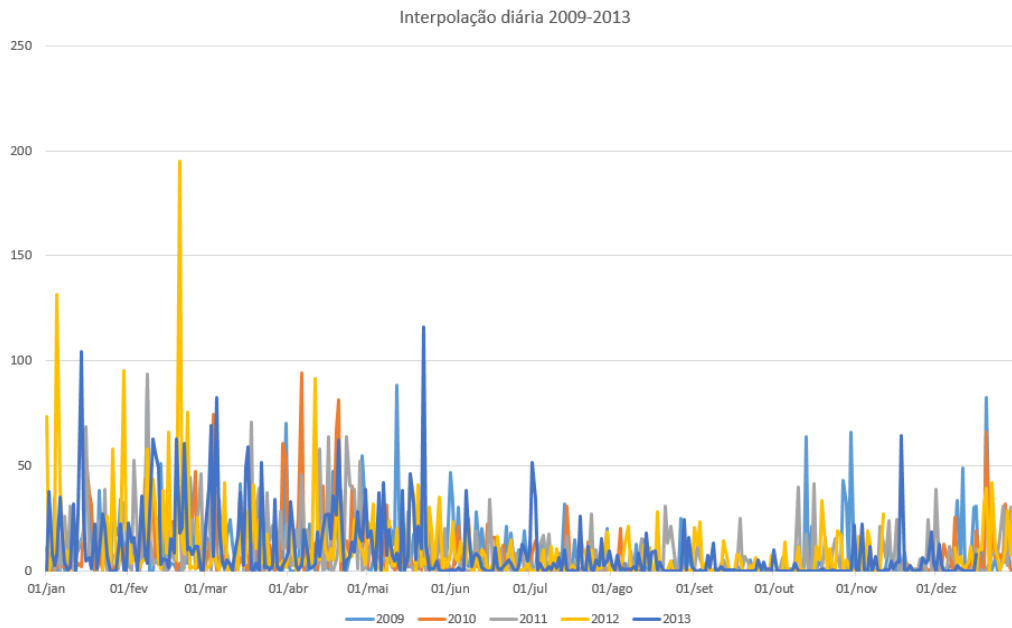


Figura 7 –Interpolação de dados diários dos anos de 2009-2013

Diferentes metodologias foram utilizadas para analisar a variabilidade da precipitação. As figuras 8 e 9 representam a variabilidade mensal e anual, respectivamente. Para gerar essas figuras foi necessário incluir dados de 2002 a 2005, que são dados antigos que passaram pelos mesmos processos, para que assim fosse possível analisar a variabilidade climática em um período de tempo maior.

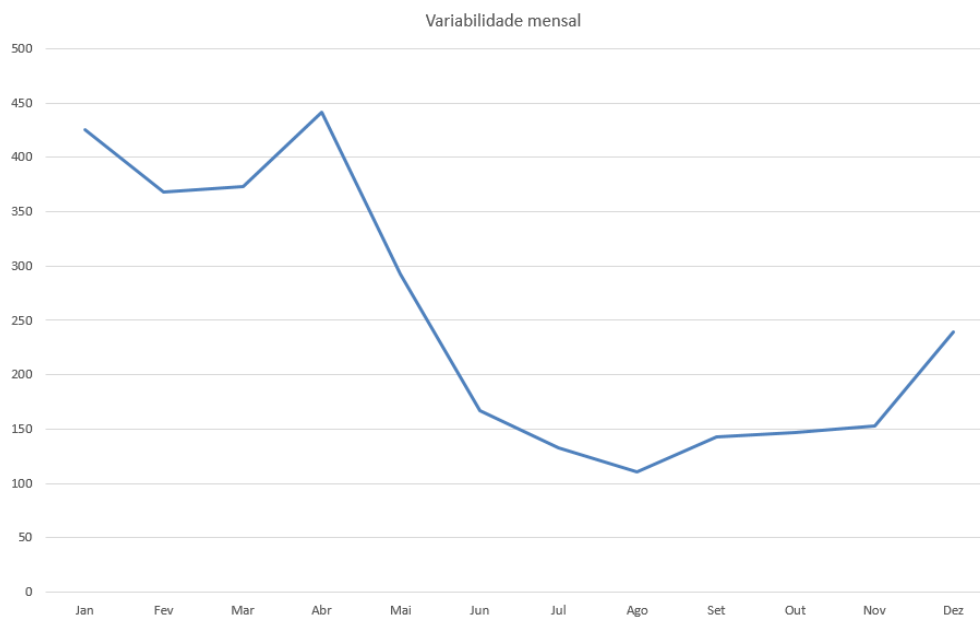


Figura 8 –Variabilidade mensal dos anos de 2002-2005 e 2009-2013

O ciclo médio anual de precipitação na bacia apresenta um ciclo bem definido. As maiores precipitações acontecem no período de Janeiro até Abril (figura 8), enquanto que de Junho até Novembro os valores de precipitações são baixos. A ausência de dados observados não permite obter uma serie continua de valores anuais, mas as precipitações acumuladas durante o período Janeiro-Abril mostram que houve um aumento significativo nos anos de 2011 até 2013 em comparação ao período 2002-2005 (figura 9). Não obstante, a distribuição mensal das precipitações nesses anos de altos valores é diferente. Em 2011 e 2013 a precipitação foi máxima em praticamente todos os meses deste período, enquanto que em 2012, os altos volumes precipitados estiveram concentrados no mês de Janeiro (figura 10).

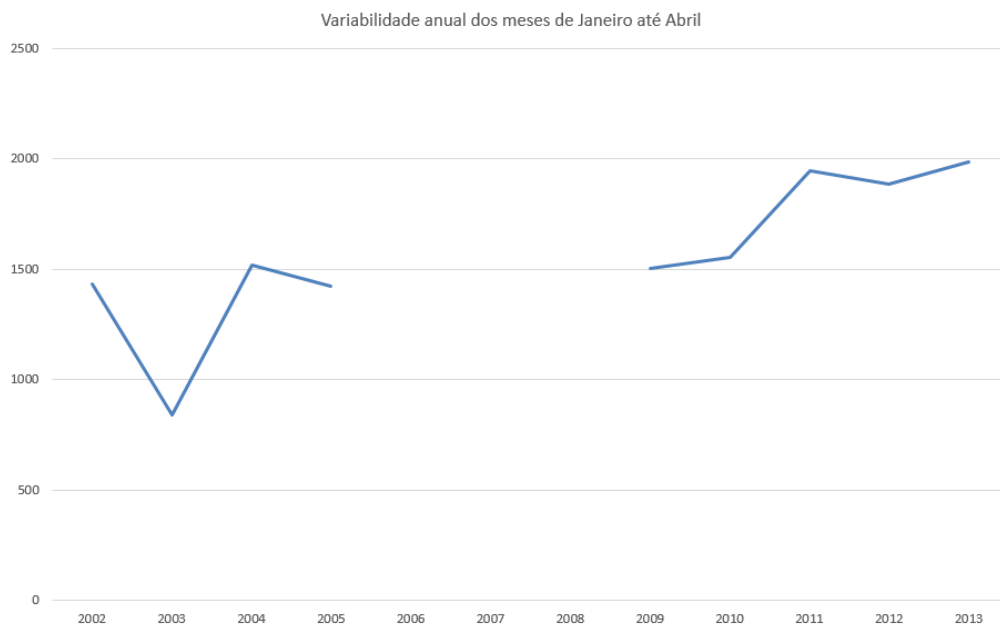


Figura 9 –Variabilidade anual dos anos de 2002-2013, referente aos meses de Janeiro até Abril

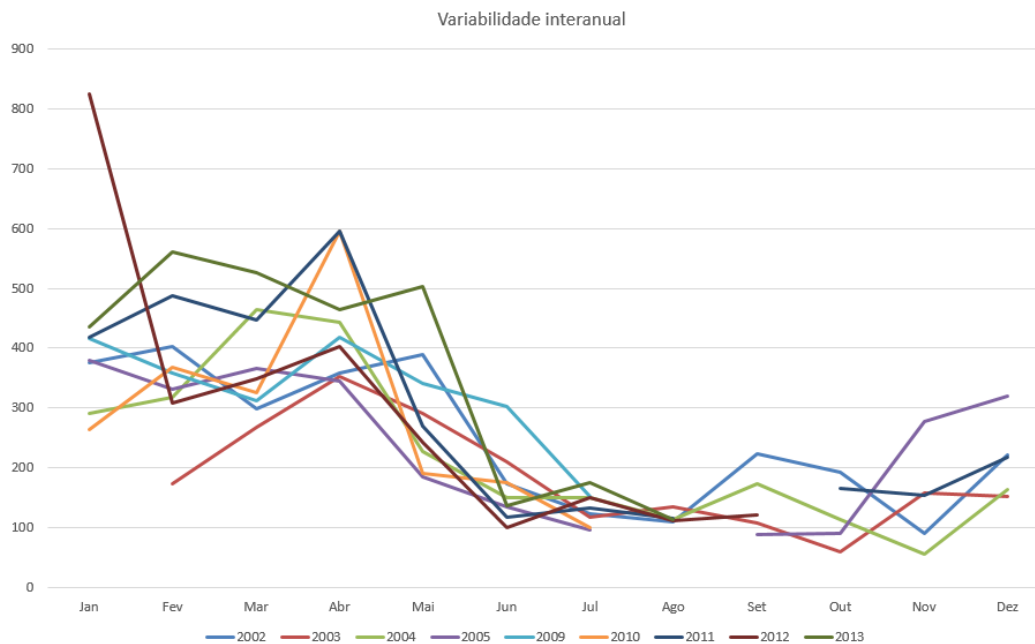


Figura 10 –Variabilidade interanual dos anos de 2002-2005 e 2009-2013

4.3. Gráficos de umidade solo e nível freático

Para os dados de umidade do solo e de nível do lençol freático, foi necessário realizar adequações e criações de programas para o processamento dos dados, que posteriormente foram plotados em gráficos para a realização das análises e correções. Foi possível identificar que em alguns períodos houve a necessidade de que os dados fossem corrigidos, visto que os valores dos diferentes dados dos tubos de umidade do solo devem possuir certa semelhança, ainda mais quando estão em profundidades próximas, assim como também os dados das torres de nível do lençol freático devem conter variações semelhantes. A figura 11 é correspondente a alguns dos gráficos gerados de umidade do solo, onde é possível identificar a variação dos valores dos dados de água na camada. É perceptível que quanto maior a profundidade, mais água é armazenada. Os gráficos são correspondentes a um dos tubos de cada um dos três níveis: platô, vertente e ecótono, respectivamente.

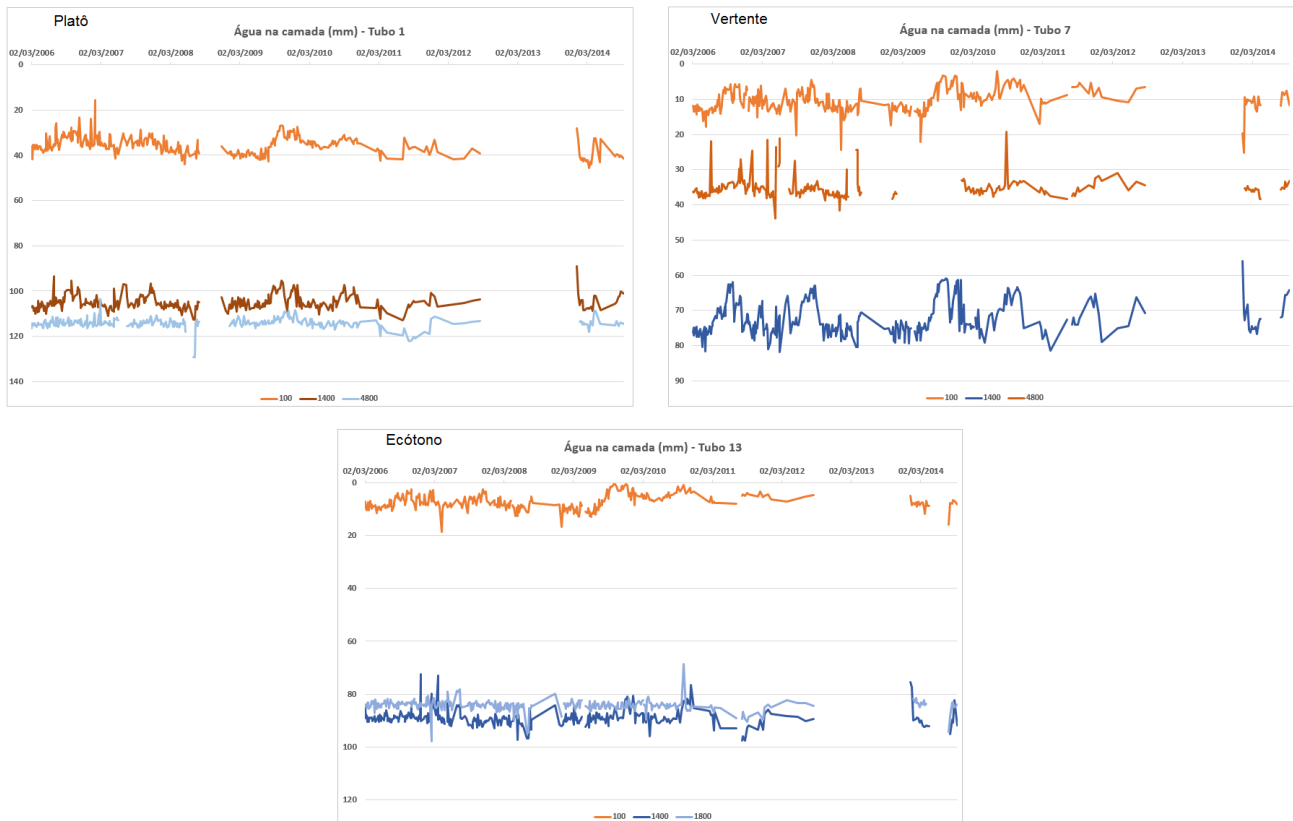


Figura 11 – Umidade do solo em três pontos representativos do platô (Tubo 1), vertente (Tubo 7) e ecótono (Tubo 13).

Na figura 12 é possível perceber que os dados de altura do nível freático sofreram algumas oscilações durante o período analisado, sendo que a partir de 2015 os valores estão tendendo a aumentar. Os baixos valores que foram obtidos em alguns períodos podem estar relacionados ao início da estação chuvosa.

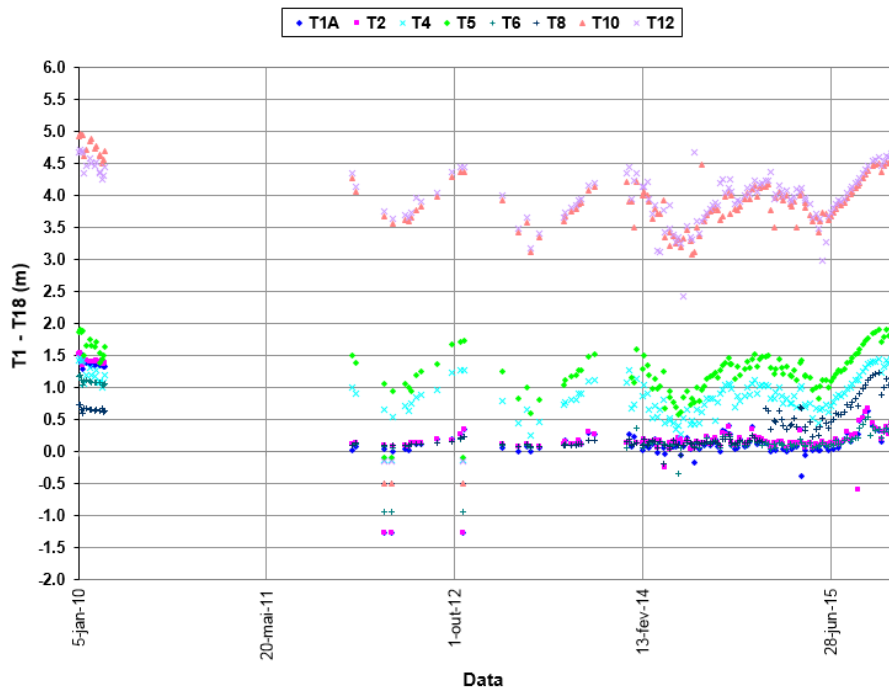
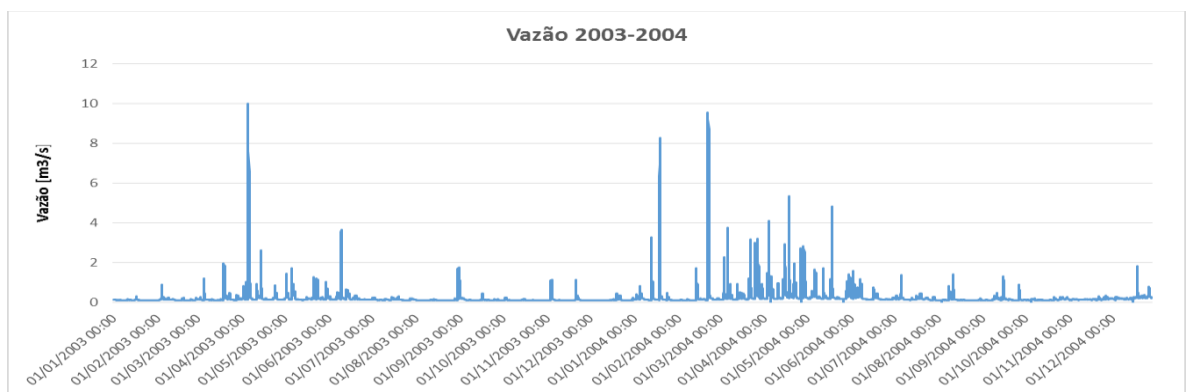


Figura 12 – Nível do lençol freático de 2010 a 2016

A figura 13 mostra as curvas de vazão para os anos de 2003-2005 e 2007, que foram gerados a partir de medições de profundidade média e velocidade média na estação ASU 1. Devido à grande quantidade de dados faltantes para o ano de 2006, não foi possível gerar uma curva de vazão para este período.



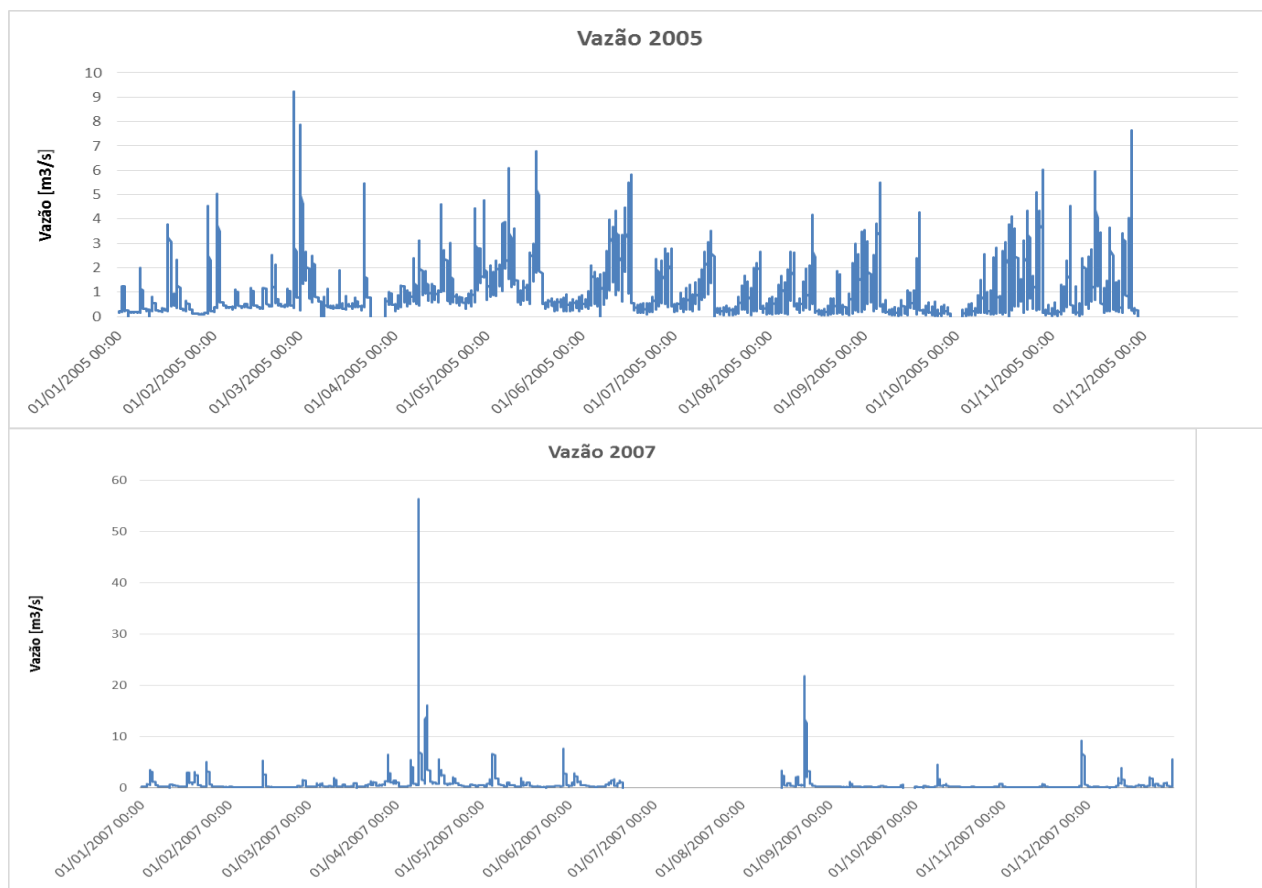


Figura 13 - Gráficos das vazões dos anos 2003-2005 e 2007

5. Considerações Finais

Com as análises dos dados de precipitação, foram identificadas incoerências nos dados, devido a algum tipo de problema com os pluviômetros. Estes dados tiveram que ser ajustados, de maneira com que as informações contidas adquirissem consistência. Através da análise desses dados que foram ajustados, foi observado que alguns dos pluviômetros continham informações mais corretas, não sendo necessário aplicar muitas correções, como por exemplo o pluviômetro Fazenda.

Através da interpolação dos dados, foi possível obter os dados médios para a bacia. Com os valores das escalas temporais, foi possível analisar melhor o comportamento da precipitação na microbacia, identificando períodos mais úmidos em um ano e entre alguns anos, o que permitirá explicar variações em outras variáveis do ciclo hidrológico que serão estudadas.

Os dados de umidade do solo tiveram que ser ajustados para que fosse possível realizar a confecção dos gráficos, o que auxiliou numa melhor análise destes dados. Foi

identificado que quanto maior a profundidade dos tubos, maior os valores de umidade, sendo que nos tubos de platô foram obtidos os maiores valores.

Foi possível perceber que os dados de nível de lençol freático dependem das condições climáticas, pois as variações encontradas nos dados podem estar associadas às chuvas ocorridas em determinados períodos de monitoramento.

As informações de vazão apresentaram variação associada com a precipitação. O processo de qualificação das informações de vazões resultou na eliminação de grande quantidade de dados, o que limita a análises temporal.

6. Referências Bibliográficas

Andréassian V.: **Waters and forests: from historical controversy to scientific debate.** Journal of Hydrology, V. 291, I. 1-2, p. 1-27, 2004.

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.; Tomasella, J.; Nobre, A. D.; Hoett, M. G.; Waterloo, M. J.; Munera, J. C. **Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: Marked differences between normal and dry years.** Agricultural and Forest Meteorology, v. 145, p. 69-83, 2007.

Ferreira, M. S.: **ESTUDO OBSERVACIONAL DO IMPACTO DA CONVERSÃO DE FLORESTA EM PASTAGEM EM MICRO-BACIAS DA AMAZÔNIA CENTRAL.** SICINPE 2007, INPE, São Jose dos Campos – 2007.

Trancoso, R.: **Mudanças na cobertura da terra e alterações na resposta hidrológica de bacias hidrográficas na Amazônia.** Dissertação de Mestrado INPA/UFAM – Manaus - 2006.

Tomasella, J.; Hodnett, M. G. ;Cuartas, L. A. ; Nobre, A. D. ; Waterloo, M. J. ; Oliveira, S. M . **The water balance of an Amazonian micro-catchment:** The effect of interannual variability of rainfall on hydrological behavior Hydrological Processes, v. 21, p. 1-2, 2007.