

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

MONITORAMENTO DA DESCARGA LÍQUIDA DO RIO DE PRIMEIRA  
ORDEM AFLUENTE DO RIO PURUZINHO

Bolsista: Renei Rocha de Carvalho, FAPEAM

HUMAITÁ – AM  
Agosto – 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL

PIB-E/0082/2013

MONITORAMENTO DA DESCARGA LÍQUIDA DO RIO DE PRIMEIRA  
ORDEM AFLUENTE DO RIO PURUZINHO

Bolsista: Renei Rocha de Carvalho, FAPEAM

Orientador: Rodrigo Tartari

HUMAITÁ – AM

Agosto - 2013

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	05
2. Revisão de bibliografia .....	06
3. Métodos utilizados .....	10
4. Resultados e discussões .....	13
5. Conclusão .....	15
Referências bibliográficas .....	16

## RESUMO

A superfície da Terra é coberta por aproximadamente 2/3 de água, sendo 97,5% da água salgada que compõe os oceanos, restando somente 2,5% de água doce. A água não se encontra uniformemente distribuída pelo planeta. A água é um insumo indispensável para o desenvolvimento econômico, pois todas as atividades humanas dependem dela, como navegação, turismo, agricultura, abastecimento de indústrias entre outros. A escassez em muitas regiões é o grande entrave para o desenvolvimento, vista que o quadro da poluição dos mananciais, especialmente ligado a várias atividades antrópicas, compromete ainda mais a disponibilidade hídrica em termos de qualidade e quantidade. Um dos maiores desafios para a humanidade é o gerenciamento dos recursos hídricos disponíveis, dado os inúmeros problemas relacionados ao conhecimento da quantidade e qualidade desses recursos, tanto em nível global como regional. Os principais usos da água são: abastecimento humano, industrial, irrigação agrícola, dessedentação de animais, diluição de efluentes, geração de energia elétrica, mineração, navegação e pesca. Diante disso o objetivo deste estudo foi monitorar a vazão de agosto de 2012 a julho de 2013 pelos métodos do molinete e dissolução de sal, avaliar as vantagens e desvantagens do emprego das técnicas utilizadas e fornecer informações sobre a vazão do igarapé durante o período de cheia e estiagem para realizar o balanço hídrico da bacia. O método de dissolução de sal (NaCl) apresentou vazão média de  $0,157 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  enquanto que pelo método do molinete a vazão média foi de  $0,158 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e curva-chave do rio estudado, o qual apresenta um bom coeficiente de correlação de 72% quando utilizado todos os dados obtidos pelos métodos empregados.

## 1. Introdução

A superfície da Terra é coberta por aproximadamente 2/3 de água, sendo 97,5% da água salgada que compõe os oceanos, restando somente 2,5% de água doce. A água não se encontra uniformemente distribuída pelo planeta. No Brasil, concentram-se 18% escoando pelos rios superficiais, aproximadamente  $257.790 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (OMM/UNESCO, 1997). A bacia Amazônica possui área de 6,6 milhões de  $\text{km}^2$ , sendo 5,4 milhões de  $\text{km}^2$  pertencentes ao território Brasileiro contendo uma contribuição de vazão média de  $131.947 \text{ m}^3/\text{s}$  e vazão de estiagem de  $73.734 \text{ m}^3/\text{s}$ , contribuição de vazão média em relação ao Brasil é de 73,6% (ANA, 2005).

O Brasil possui 12% da água doce disponível no mundo, distribuída em 12 Regiões Hidrográficas: Amazônica, do Tocantins-Araguaia, do Paraguai, do Paraná, do Uruguai, do Atlântico Sul, do São Francisco, do Atlântico Nordeste, do Atlântico Leste, do Parnaíba, do Atlântico Nordeste Oriental, do Atlântico Leste, do Atlântico Sudeste, sendo considerado um país “rico em água” com uma disponibilidade hídrica de  $35.732 \text{ m}^3$  habitantes/ano, mas a mesma não está bem distribuída entre as regiões hidrográficas (TOMAZ, 2001; ANA, 2005).

A água é um insumo indispensável para o desenvolvimento econômico, pois todas as atividades humanas dependem dela, como navegação, turismo, agricultura, abastecimento de indústrias entre outros. A escassez em muitas regiões é o grande entrave para o desenvolvimento, vista que o quadro da poluição dos mananciais, especialmente ligado a várias atividades antrópicas, compromete ainda mais a disponibilidade hídrica em termos de qualidade e quantidade (ANA, 2005).

O conhecimento das condições hídricas em pequenas bacias é uma ferramenta primordial no gerenciamento dos recursos hídricos frente ao cenário atual de degradação das águas e a necessidade crescente de novas fontes de abastecimento (COSTA *et al.*, 2007), principalmente em áreas com desconhecimento e localizadas na região do “arco do desmatamento” (PHILIP M. FEARNSIDE, 2003). Por isso, a determinação da vazão consiste em uma etapa fundamental nesse processo de caracterização das condições hidrológicas e na avaliação da disponibilidade hídrica de uma bacia, existindo várias técnicas para obtê-la (CUSTODIO 1976; ABNT, 1995). Para Costa *et al.*, (2007), quanto maior a eficácia da técnica, mais dispendiosa e maior a necessidade de recursos técnicos, o que justifica em parte, o fato de muitas bacias hidrográficas não serem monitoradas continuamente e não terem suas condições hídricas ainda claramente definidas.

De acordo com Borges (2006), a vazão é conceituada como sendo o volume de água escoada na unidade de tempo em uma determinada seção do curso de água. Afirmam ainda

que a escolha do método para medir a vazão de um determinado corpo d'água depende do volume do fluxo de água, das condições locais, do custo e da precisão desejada.

O estudo e cálculo de vazão em microbacias é uma questão ainda deficiente, pois existe uma série de técnicas desenvolvidas por muitos pesquisadores que procuram estimá-la, entretanto, com exceção dos locais onde há uma infraestrutura permanente montada e coleta diária de dados, os valores de vazão obtidos não representam totalmente a realidade (LOURENÇO *et al.*, 2009).

## 2. Revisão de bibliografia

Um dos maiores desafios para a humanidade é o gerenciamento dos recursos hídricos disponíveis, dado os inúmeros problemas relacionados ao conhecimento da quantidade e qualidade desses recursos, tanto em nível global como regional. O Brasil, país com dimensões continentais, 8.511.965 km<sup>2</sup>, concentra 12% da água doce disponível no mundo, sendo o país mais rico nesse quesito, com uma descarga média dos rios de 6.220 km<sup>3</sup>/ano, ou aproximadamente 197.500 m<sup>3</sup>/s, seguido pela Rússia, EUA e Canadá (REBOUÇAS, 2002).

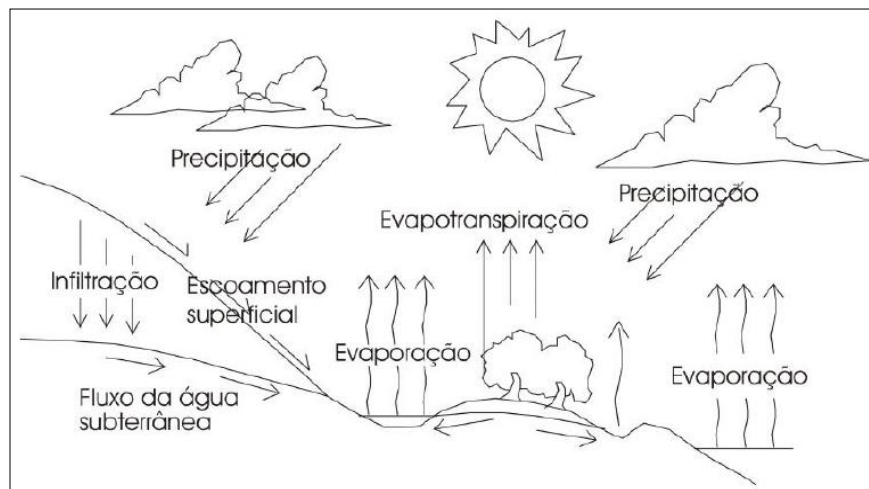
O desenvolvimento econômico e social está diretamente relacionado com a quantidade de água disponível, pois este é um elemento indispensável para a vida e para sua manutenção. O crescimento da população, por exemplo, requer um aumento proporcional da disponibilidade de água. Os principais usos da água são: abastecimento humano, industrial, irrigação agrícola, dessedentação de animais, diluição de efluentes, geração de energia elétrica, mineração, navegação e pesca (ECOPLAN ENGENHARIA, 2003).

Para Silveira (1997), o estudo dos recursos hídricos implica em conhecimento do ciclo hidrológico, seus componentes e as relações entre eles. Conforme a Figura 1, o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à atividade de rotação terrestre.

Porém, somente a partir do século XV, com Leonardo da Vinci e Bernard Palissy, o ciclo hidrológico passou a ser mais bem compreendido. A dificuldade era aceitar que a precipitação tinha um volume maior que a vazão e que os rios são mantidos perenes pelo retardamento do escoamento do subsolo. Pierre Perrault, no século XVII (1608-1680), analisou os componentes da relação precipitação-vazão, ou seja, a precipitação, a

evaporação e a infiltração da bacia do rio Sena, e comparou essas grandezas com medições de vazão realizadas por Edmé Mariotte, constatando que as vazões eram apenas cerca de 16% da precipitação.

No século XIX, iniciam-se, de um lado, as medições sistemáticas de precipitações e vazão e, de outro, o desenvolvimento teórico e experimental da hidráulica. Nos Estados Unidos, a coleta sistemática de precipitação iniciou em 1819, enquanto que a de vazões iniciou em 1888. No Brasil, os postos mais antigos de precipitação são do final do século XIX, enquanto que a coleta de dados de níveis e vazão iniciou no começo do século XX.



**Figura 1.** Esquema do ciclo hidrológico.

O ciclo hidrológico é o tema principal da hidrologia e envolvem diversos processos hidrológicos, fatores que têm influência sobre as bacias hidrográficas, em especial o papel da vegetação, de que maneira ela interfere na dinâmica das bacias hidrográficas e qual é a sua importância para a manutenção destas, via processos de interceptação sendo condensação, precipitação, evapotranspiração, infiltração e percolação, exemplos de processos verticais, e os escoamentos superficial e subsuperficial, exemplos de processos horizontais (KOBAYAMA, 1999).

Para a compreensão do ciclo hidrológico, pode-se descrevê-lo como tendo início a evaporação da água dos oceanos. O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar e, sobre determinadas condições, é condensado, formando as nuvens que por sua vez podem resultar em precipitação.

A precipitação que ocorre sobre a terra é dispersa de várias formas. A maior parte fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e finalmente retorna à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Uma parte da água restante escoar sobre a superfície do solo (infiltração) ou através do solo para os rios (escoamento subsuperficial),

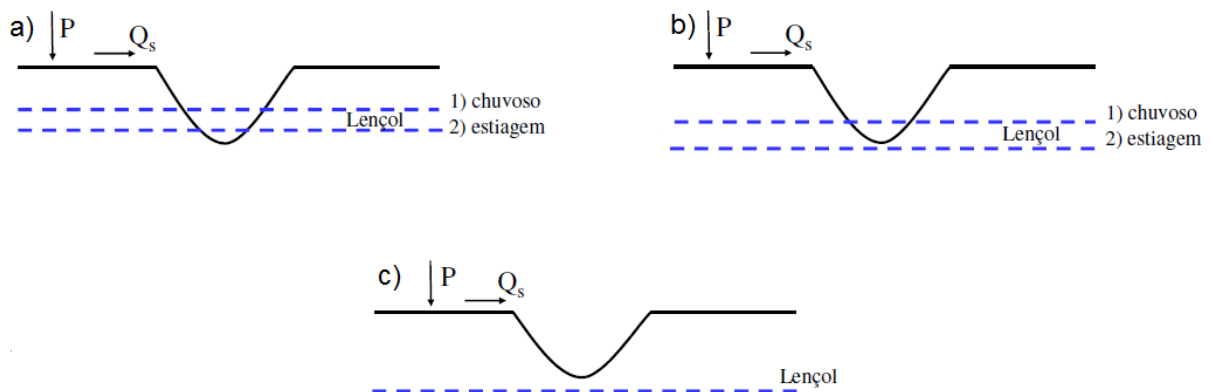
enquanto que parte penetra profundamente no solo, indo suprir o lençol d'água subterrâneo (VILLELA e MATTOS, 1975).

O conhecimento do sistema de drenagem é de grande importância no estudo das Bacias Hidrográficas, ou seja, que tipo de curso d'água está drenando a região. Uma maneira utilizada para classificar os cursos d'água (Figura 2) é a de tomar como base a constância do escoamento com o que se determinam três tipos (CARVALO e SILVA, 2006):

a) Perenes: contém água durante todo o tempo. O lençol freático mantém uma alimentação contínua e não desce nunca abaixo do leito do curso d'água, mesmo durante as secas mais severas.

b) Intermitentes: em geral, escoam durante as estações de chuvas e secam nas de estiagem. Durante as estações chuvosas, transportam todos os tipos de deflúvio, pois o lençol d'água subterrâneo conserva-se acima do leito fluvial e alimentando o curso d'água, o que não ocorre na época de estiagem, quando o lençol freático se encontra em um nível inferior ao do leito.

c) Efêmeros: existem apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação e só transportam escoamento superficial. A superfície freática se encontra sempre a um nível inferior ao do leito fluvial, não havendo a possibilidade de escoamento de deflúvio subterrâneo.



**Figura 2:** a) rio perene, b) rio intermitente e c) rio efêmero.

Por vazão, ou descarga líquida, entende-se o volume de água que passa numa determinada seção do rio por unidade de tempo, a qual é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade de fluxo, e é expressa comumente no sistema internacional (SI) de medidas em  $m^3/s$ . A descarga (vazão) aumenta da montante (região mais alta do rio) para a jusante (áreas rio abaixo) até sua foz. No entanto, pode ser



observadas por meio de medições de vazão, áreas em que o ponto medido a jusante apresenta valores inferiores de vazão que a montante. Este fato pode ser explicado devido à dinâmica de transferência de energia canal e planície, explicado pela transferência de água para dentro da planície fluvial, formando áreas alagadas e lagos próximo ao canal, porém, mais a jusante o rio estabelece seu equilíbrio usual (CARVALHO, 2006; CARVALHO, 2007).

A medição de vazão em cursos d'água é realizada, normalmente, de forma indireta, a partir da medição de velocidade ou de nível. Os instrumentos mais comuns para medição de velocidade de água em rios são os molinetes, que são pequenas hélices que giram impulsionados pela passagem da água. Em situações de medições expeditas, ou de grande carência de recursos, as medições de velocidade podem ser feitas utilizando flutuadores, com resultados muito menos precisos.

Os molinetes são instrumentos projetados para girar as hélices em velocidades diferentes de acordo com a velocidade da água (Figura 3). A relação entre velocidade da água e velocidade de rotação da hélice do molinete é dada pela equação acoplada no sistema operacional do molinete. Esta equação é fornecida pelo fabricante do molinete, porém deve ser verificada periodicamente, porque pode ser alterada pelo desgaste das peças (COLLISCHONN, 2008).

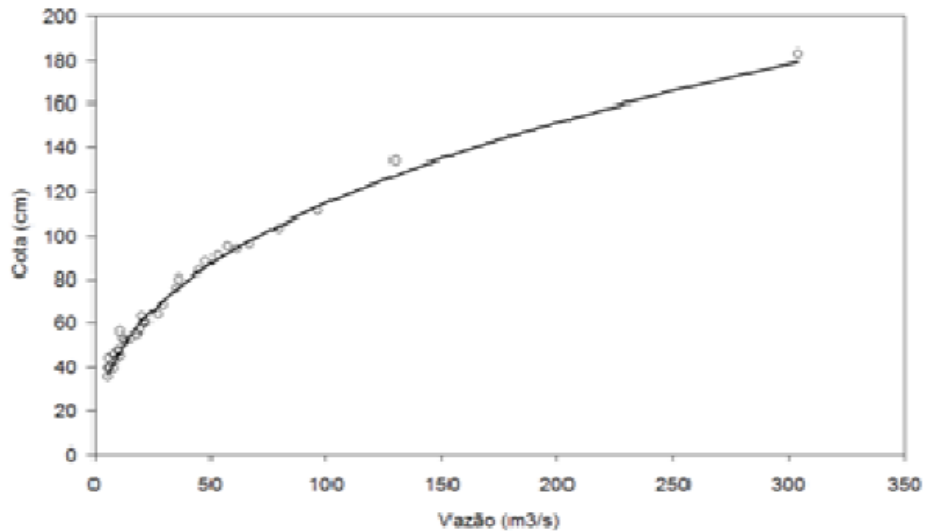


**Figura 3:** Molinete para medição de velocidade da água.

A medição de vazão é um processo de elevado custo financeiro, o que impede medições de vazão com frequência. Normalmente a medição de vazão em rios exige uma equipe de técnicos qualificados e equipamentos como molinete, guincho e barcos. Em função disso, as medições de vazão são realizadas com o objetivo de determinar a relação entre o nível da água do rio em uma seção e a sua vazão. Esta relação entre o nível (ou

cota) e a vazão é denominada a curva-chave de uma seção. Com a curva-chave é possível transformar medições diárias de cota, que são relativamente baratas, em medições diárias de vazão.

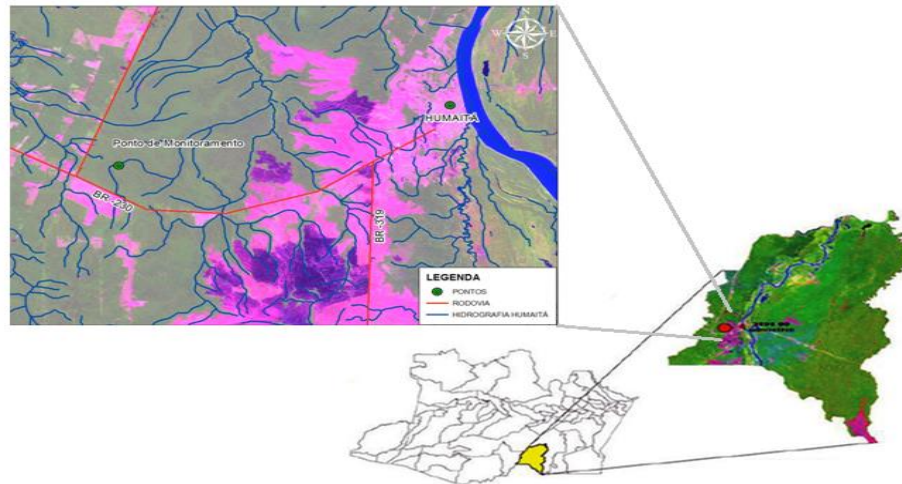
Para gerar uma curva-chave representativa é necessário medir a vazão do rio em situações de vazões baixas, médias e altas. A Figura 4 apresenta, de forma gráfica, uma curva-chave (COLLISCHONN, 2008).



**Figura 4:** Exemplo de curva-chave (COLLISCHONN, 2008).

### 3. Métodos utilizados

O monitoramento foi realizado no igarapé de primeira ordem (Figura 6) pertencente à bacia do Puruzinho, localizado no município de Humaitá-AM com coordenadas de 7° 34' 16" S e 63° 14' 37" W conforme apresentado na Figura 5.



**Figura 5:** Mapas, a) Área de estudo, b) Município de Humaitá e c) Estado do Amazonas.



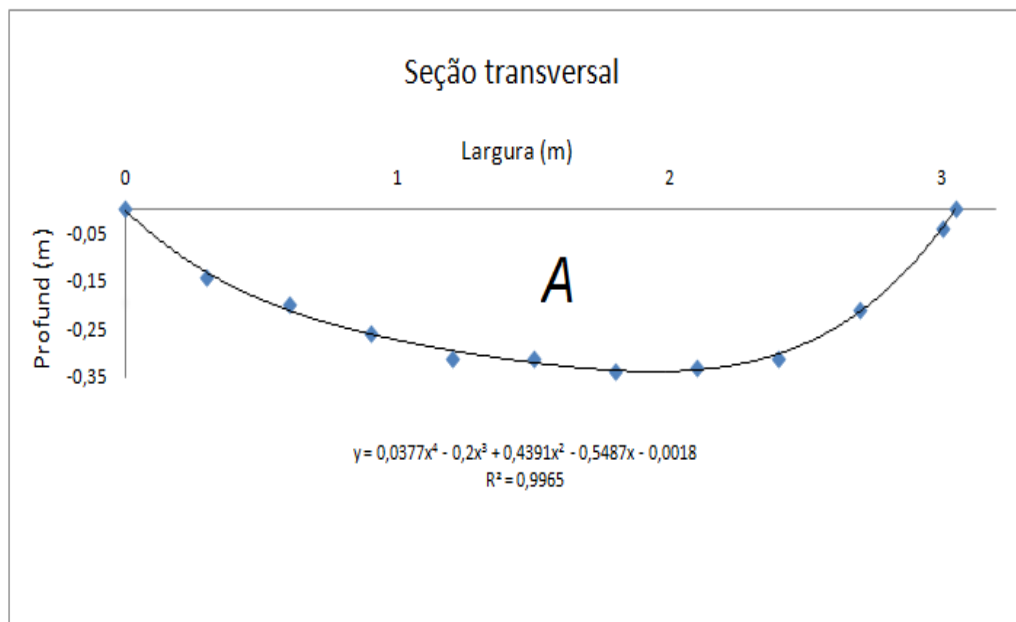
**Figura 6:** Igarapé de 1º ordem em estudo.

Para a determinação da área da seção molhada transversal ao igarapé, foi medida a largura do mesmo e, medindo a profundidade do igarapé em vários pontos ao longo de sua largura. Com o auxílio de uma ripa de madeira acoplada a uma trena, partindo da margem esquerda para direita foram feitas medidas de profundidades distanciadas 0,30 m, conforme Figura 7.



**Figura 7:** Medição batimétrica do Igarapé.

Essas medidas foram tabuladas em planilhas de Excel e foram plotado gráficos para o cálculo da área por integração conforme apresentado na Figura 8.



**Figura 8:** Perfil da seção transversal do igarapé

Foram realizadas leituras com frequência mensal e utilizados dois métodos, (i) do molinete e (ii) da dissolução de sal (NaCl) na mesma seção do perfil transversal.

- **Método do molinete:** Na medição com o método do molinete, o qual são instrumentos projetados para girar em velocidades diferentes de acordo com a velocidade da água, ele foi posicionado em 10 (dez) pontos diferentes distribuídos ao longo da largura e profundidade do perfil. Em cada ponto o molinete foi introduzido na água abaixando e levantando suavemente por aproximadamente 30 segundos, tempo necessário para estabilização, leitura e registro da velocidade média. Após a obtenção das 10 leituras foi calculado a média aritmética da velocidade e inserido na equação da continuidade para cálculo da vazão, sendo ela  $Q = V \cdot A$ , onde Q a Vazão em  $m^3/s$ ; A é a área da seção transversal  $m^2$  e V a velocidade em  $m/s$ .

- **Método de dissolução de sal (NaCl):** No método de dissolução de sal (NaCl) foi injetado uma solução de sal no igarapé, aproximadamente 50 m a montante do ponto onde foi medido a concentração (indiretamente) através da condutividade elétrica da água (em  $\mu$ -siemens), com um condutivímetro. Inicialmente, a concentração foi medida a cada 15 segundos, aumentando-se o tempo de medição conforme a concentração de sal no igarapé diminuía, e terminou quando o valor de concentração retornou ao valor inicial (medido antes de injetar a solução). A vazão do igarapé foi obtida através do cálculo utilizando da seguinte equação:

$$Q = \frac{(C_i - C_b)V_i}{\int_0^{\infty} (C(t) - C_b) dt}$$

onde, Q é a vazão ( $m^3/s$ ),  $C_i$  é concentração do sal da solução,  $C_b$  é a concentração do igarapé antes de injetar a solução,  $C(t)$  é a concentração no tempo t e  $V_i$  é o volume injetado.

#### 4. Resultados e discussões

Para o monitoramento da vazão, o qual foi realizado no rio de primeira ordem afluente do rio Puruzinho, foram consideradas as seguintes grandezas: velocidade do fluxo da água, áreas da seção transversal, concentração da água do rio, concentração da solução (água do rio mais solução) e como resultado as vazões calculadas.

Tabela 1 – Valores de vazão obtidos pelo método do molinete e de dissolução de sal nos meses de janeiro a junho de 2013.

Mês	Molinete (m <sup>3</sup> /s)	Dissolução de sal (m <sup>3</sup> /s)
Jan	0,099	0,129
Fev	0,082	0,064
Mar	0,323	0,369
Abr	0,151	0,117
Mai	0,139	0,121
Jun	0,153	0,142

O projeto foi executado num período de doze meses, porém de acordo a Tabela 1 foi possível observar que só houve dados nos meses de janeiro a junho de 2013. Salienta-se que este curso d água no período seco, sua vazão é zero (Figura 9), ou seja não apresenta escoamento superficial, logo para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, não possui dados.

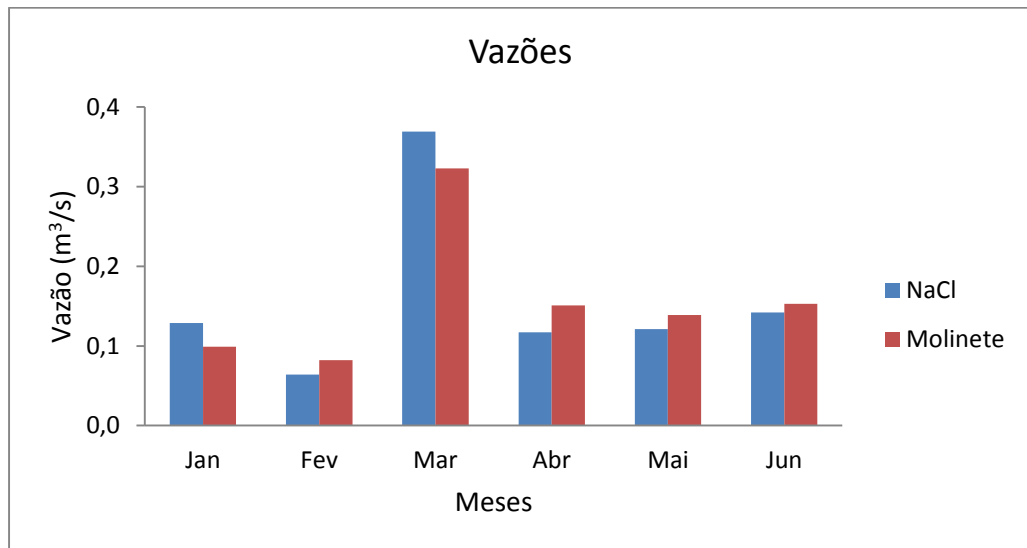


**Figura 9** – Igarapé de primeira ordem em dois períodos distintos, destacando a intermitência em período seco e de vazão máxima em período chuvoso.

Durante o período de monitoramento com o método de dissolução de sal (NaCl) e o método do molinete, observou-se que só houve fluxo de água durante seis meses e no período de cheia, o qual foi possível medir a vazão. O método de dissolução de sal (NaCl) apresentou vazão média de 0,157 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> enquanto que pelo método do molinete a vazão média foi de 0,158 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>.

De acordo com a Figura 10, observou-se que durante o período de monitoramento o pico máximo da vazão registrada ocorreu no mês de março em decorrência de elevadas precipitações em horas antes da medição, entretanto esses dados não foram possíveis de obter devido problema ocorrido no pluviômetro instalado na torre meteorológica. Empiricamente, foi possível observar os meses que houve vazão máxima no rio e que

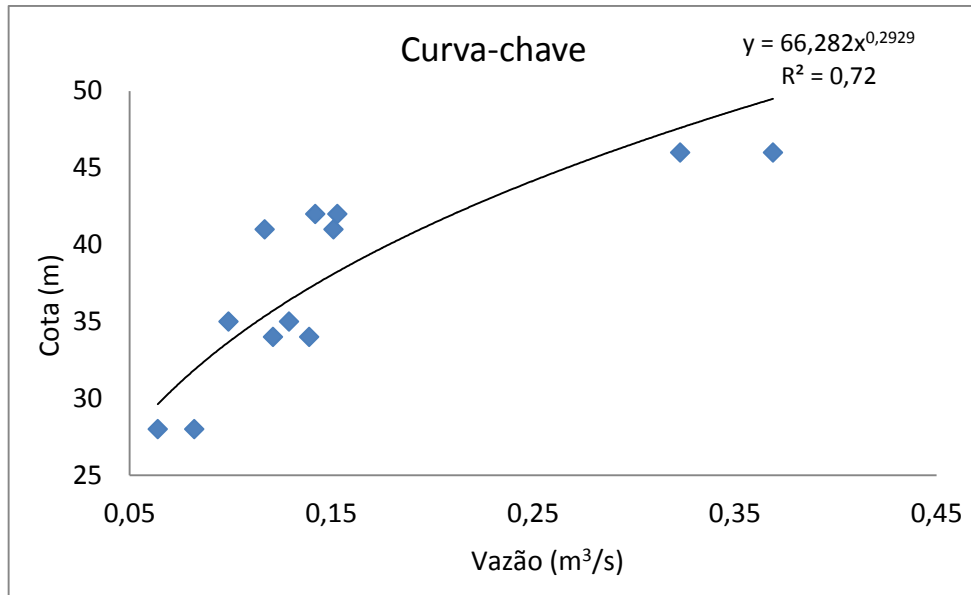
coincidem com o período chuvoso amazônico, desse modo a descarga líquida do afluente do Puruzinho é fortemente influenciado pelas precipitações.



**Figura 10:** Vazão pelos métodos do molinete e dissolução de sal.

De acordo com a Figura 10, observou-se que durante o período de monitoramento o pico máximo da vazão registrada ocorreu no mês de março em decorrência de elevadas precipitações em horas antes da medição, entretanto esses dados não foram possíveis de obter devido problema ocorrido no pluviômetro instalado na torre meteorológica. Empiricamente, foi possível observar os meses que houve vazão máxima no rio coincidem com o período chuvoso amazônico, desse modo a descarga líquida do afluente do Puruzinho é fortemente influenciado pelas precipitações.

Durante o período de monitoramento foram coletados os dados de vazão e cota (nível da água do rio), o qual possibilitou construir a curva-chave, ou seja, a relação entre vazão e a cota. A Figura 11 mostra a curva-chave do rio estudado, o qual apresenta um bom coeficiente de correlação de 72%. Entretanto, se faz necessário coletar mais dados para melhorar o coeficiente de correlação.



**Figura 11:** Curva-chave:

## 5. Conclusão

Por se tratar de um rio de primeira ordem e intermitente, não foi possível realizar as medições de vazão durante os doze meses, pois este se trata de um rio que só há escoamento de água durante certo período do ano, ou seja, quando o nível do freático está acima da superfície da calha do igarapé. O estudo foi realizado no período de agosto de 2012 a julho de 2013, o qual mostrou que houve escoamento de água apenas nos meses de janeiro a junho de 2013.

Diante dos métodos empregados (dissolução de sal e molinete) no estudo da vazão, o método de dissolução de sal (NaCl) apresentou-se mais vantajoso devido ao seu econômico modo de emprego e maior eficiência em cursos d'água de pequeno porte onde a velocidade da água é baixa e, outros métodos são de difíceis aplicações. Já o método do molinete foi menos vantajoso, pois é um equipamento caro e tem baixa precisão em cursos d'água que apresentam obstáculos e baixa velocidade de fluxo d'água.

## 6. Referências bibliográficas

Agencia Nacional de Águas, **Superintendência de Planejamento e Recursos Hídricos**. Brasília, ANA, SPR, 2005.

BORGES, Alberto de Campos. **Topografia aplicada à Engenharia civil**: vol. 01. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.



CARVALHO, D. F, SILVA, L. D. B, **Hidrologia**: 2006. 32p.

CARVALHO, T.M. Quantificação de sedimentos em suspensão e de fundo no médio rio Araguaia. *Revista Geografia Acadêmica*, 1,1:55-64, 2007.

CARVALHO, T.M. **Transporte de Carga Sedimentar no médio rio Araguaia entre os rios Crixás-Açú e Javaés**. Dissertação de mestrado (Geografia). 2006. 87p.

COLLISCHONN, W. **Introduzindo Hidrologia**. Rio Grande do Sul, 2008. 148p.

COSTA, F. M; BACELLAR, L. A.; SILVA, E. F. **Vertedores portáteis em microbacias de drenagem**. REM – R. Esc. Minas, Ouro Preto, 60 (2): 213 – 218, abr. jun, 2007.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. Barcelona: Ediciones Omega S. A., 1976. Vol. 2. 1157p.

ECOPLAN ENGENHARIA LTDA. “Capítulo 1 - Caracterização da Bacia”, in *Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá*. 2003.

KOBIYAMA, M. Manejo de bacias hidrográficas: conceitos básicos. In: Curso de Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal, Apostila, Curitiba: FUPEF, 1999. p.29-31.

LOURENÇO, J.M.; BRAGA, F.M. **Hidrologia de microbacias hidrográficas: Descrição e Avaliação de duas técnicas para a aferição da vazão**. São Paulo, SP. UNESP, 2009.

OMM/UNESCO, **Hay suficiente água em el mundo**, 22 p, 1997.

REBOLÇAS, A. C. (2002). “Água doce no mundo e no Brasil”, in: *Água doce no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*. Org. por REBOLÇAS, A. C.; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia. 2 ed. São Paulo: Escrituras, pp. 1-37.

rios Crixás-Açú e Javaés. Dissertação de mestrado (Geografia). 2006. 87p.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Edusp / ABRH, 1997, 35-51p.

TOMAZ, 2001 TOMAZ, P. **Economia de Água para Empresas e Residências: um estatuto atualizado sobre o uso racional da água**. 2ª ed. São Paulo: Navegar, p. 112, 2001.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975, 247p.

PHILIP M. FEARNSIDE, *A Floresta Amazônica nas mudanças climáticas*. Manaus. INPA, 2003.