

## COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES COM MOLINETE E FLOWTRACKER EM RIOS DE FUNDO ROCHOSO – ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO PIABANHA

*Marcio Junger Ribeiro<sup>1\*</sup> & Mariana Dias Villas-Boas<sup>2</sup> & Rubens Esteves Kenup<sup>3</sup> & Antonio Machado Neto<sup>4</sup> & Gentil Maciel da Silva<sup>5</sup> & Bruno dos Anjos da Motta<sup>6</sup> & Benjamin Mota<sup>7</sup> & Janaina Gomes Pires<sup>8</sup> & Fabio da Silva Costa<sup>9</sup> & Lucas Peralta<sup>10</sup>*

**Resumo** – A medição de vazão nos rios é importante para subsidiar a gestão de recursos hídricos. Há uma variedade de métodos de medição de vazão disponíveis. A necessidade da escolha de um melhor equipamento para medir vazão tornou-se um problema em função dos tipos de rios. Nesse trabalho foram comparados dados de vazão medidos com o uso dos métodos mecânico e acústico na bacia do rio Piabanha na Região Serrana do Rio de Janeiro. A maior parte dos rios dessa região tem fundo rochoso. Foram observadas grandes diferenças percentuais entre as medições dos dois equipamentos. Essas grandes diferenças ocorreram quando os níveis estavam mais baixos. Assim podem ser justificadas por dois fatores. O primeiro seria a pouca vazão que, como já apresentado por outros trabalhos, gera distorções na medição com molinete. E o segundo seria o fundo rochoso que passa a influenciar mais nas medições quando o rio está baixo e que pode gerar medições imprecisas pelo FlowTracker. Os medidores acústicos Doppler podem ser comparados aos métodos tradicionais, como por exemplo, o medidor manual através do molinete.

**Palavras-Chave** – molinete, FlowTracker, Piabanha

## COMPARISON BETWEEN CURRENT METER AND FLOWTRACKER MEASUREMENTS IN ROCKY BED RIVERS - CASE STUDY: PIABANHA RIVER BASIN

**Abstract** – Flow measurement in rivers is important to support the water resources management. There are a variety of flow measurement methods. In this work, flow data measured with mechanical and acoustic methods were compared in the Piabanha river watershed in the mountain region of Rio de Janeiro. Most of the rivers in this region have a rocky bed. Large differences of more than XXXX% between the measurements of the two equipments were observed. These large differences occurred when levels were lower. This can be justified by two factors. The first would be the low flow which, as already presented by other works, generates distortions in the measurement with windlass. And the second would be the rocky bottom that starts to influence more the measurements when the river is low and that can generate inaccurate measurements by the FlowTracker.

**Keywords** – current meter, FlowTracker, Piabanha

<sup>1</sup> CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - marcio.ribeiro@cprm.gov.br

<sup>2</sup> CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – mariana.villasboas@cprm.gov.br

<sup>3</sup> CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – rubens.kenup@cprm.gov.br

<sup>4</sup> CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – machado.neto@cprm.gov.br

<sup>5</sup> CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – gentil.maciell@cprm.gov.br

<sup>6</sup> CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – bruno.motta@cprm.gov.br

<sup>7</sup> CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – marcio.junger@cprm.gov.br

<sup>8</sup> CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – janaina.silva@cprm.gov.br

<sup>9</sup> CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – fabio.costa@cprm.gov.br

<sup>10</sup> CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – lucas.peralta@cprm.gov.br

## INTRODUÇÃO

A medição de vazão nos rios é essencial para fornecer dados para subsidiar a gestão de recursos hídricos. Medição de vazão em hidrometria é todo método empírico utilizado pra determinar a vazão do rio (Santos et al, 2001). Ela pode ser feita utilizando diversos métodos, tais como: mecânico, acústico, volumétrico e químico.

O objetivo principal desse trabalho é a avaliação do comportamento do molinete e do FlowTracker em rios com fundo rochoso. Esse é o caso da maioria dos rios que compõe a bacia do rio Piabanha na região serrana do estado do Rio de Janeiro. O USGS recomenda evitar seções com mudanças abruptas na topografia do leito, tais como pedregulhos, quando for medir usando o FlowTracker. Mas isso se torna impossível em regiões de montanha como é o caso da área de estudo. Alerta, ainda, que os efeitos de contorno podem resultar em medições de velocidades imprecisas (BLANCHARD, 2004).

É possível encontrar alguns trabalhos comparando o funcionamento do molinete e do FlowTracker. Entretanto, a maioria deles discute as limitações de realizar medições com molinete em velocidades baixas e em rios de fundo estável. Por exemplo, Gamaro et al (2007) afirmam que o micromolinete OTT não mede velocidade abaixo de 0,025 m/s e, por outro lado, os medidores acústicos Doppler conseguem medir em profundidades rasas e velocidades a partir de 0,001 m/s. Coelho et al (2011) ressalta que uma das vantagens do FlowTracker em relação ao molinete é a capacidade de medição em profundidades rasas e sua versatilidade em relação à variação de velocidade de medição.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Método de medição

Nesse trabalho foram utilizados dois métodos de medição de vazão: o acústico, com o uso do FlowTracker, e o convencional, que usa o molinete. O princípio básico dos dois métodos é similar, ou seja, a integração das velocidades medidas em verticais ao longo da área da seção transversal do rio. O diferencial é a forma como a velocidade é determinada, conforme será detalhado nos itens a seguir.

A medição começa com o posicionamento de um cabo graduado ao longo da seção e a determinação da largura do rio. A seguir é estabelecido o espaçamento entre verticais com base na Tabela 1. Em cada vertical é medida a profundidade do rio e, assim, estabelecidos o número de pontos de aquisição da velocidade. Com os valores de velocidade e seção equivalente é então calculada a vazão do rio. Para o cálculo da vazão, para ambos os métodos, foi adotado a metodologia da Meia-Seção (Santos et al., 2001). Não houve necessidade de barco em nenhum dos pontos selecionados para o estudo.

Tabela 1 – Determinação do espaçamento entre verticais com base na largura do rio.

Largura do rio (m)	Distância entre verticais (m)
3,00	0.3
3,00 - 6,00	0.5
6,00 - 15,00	1.00
15,00 - 30,00	2.00
30,00 - 50,00	3.00

Fonte: DNAEE, 1967 in Santos et al., 2001

## O molinete

Os molinetes são classificados em dois tipos: eixo vertical e eixo horizontal (Santos et al, 2001). O molinete horizontal, como o que foi utilizado nesse trabalho, consiste em uma hélice calibrada ligada ao eixo de rotação por meio de uma rosca sem fim. Quando a hélice é movimentada pelo fluxo do rio, ela aciona o comando de um contato elétrico conectado a um contador que detecta quando a hélice completa uma rotação (Santos et al, 2001). Assim, a partir do número de rotações da hélice, num determinado intervalo de tempo, é possível calcular a velocidade do fluxo com o uso de uma equação que converte o número de giros em velocidade. É recomendável uma aferição periódica do molinete para detectar possíveis mudanças de características em função de eventuais desgastes dos seus componentes e, assim, proceder ao ajuste da equação. Neste trabalho foi utilizado um micromolinete de eixo horizontal da marca OTT número 212684 com um contador digital OTT Z400. A Tabela 2 apresenta a quantidade de pontos de medição de velocidade na vertical em função da profundidade bem como a forma de cálculo da velocidade média.

Tabela 2. Cálculo da velocidade média na vertical

nº de pontos	posição na vertical (*) em relação à prof. "p"	Cálculo da velocidade média , na vertical	Profundidade(m)
1	0,6p	$V=V_{0,6}$	0,15 - 0,6
2	0,2 e 0,8p	$V = (V_{0,2} + V_{0,8})/2$	0,6 - 1,2
3	0,2; 0,6 e 0,8p	$V = (V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8})/4$	1,2 - 2,0
4	0,2; 0,4 ; 0,6 e 0,8p	$V = (V_{0,2} + 2V_{0,4} + 2V_{0,6} + V_{0,8})/6$	2,0 - 4,0
6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8p e F	$V = [V_S + 2(V_{0,2} + 2V_{0,4} + 2V_{0,6} + V_{0,8}) + V_F]/10$	> 4,0

(\*)S - Superfície; F - fundo

Fonte: DNAEE, 1977 in Santos et al., 2001

## O Flowtracker

O FlowTracker é um medidor de vazão ADV® (Acoustic Doppler Velocimeter). O equipamento faz um cálculo automático de vazão, utilizando uma variedade de métodos analíticos internacionais, incluindo as normas ISO e USGS. No final da execução da medição, basta pressionar um botão e o FlowTracker faz o cálculo da vazão (CLEAN, 2017).

## Área de Estudo

O estudo se desenvolveu no âmbito do projeto institucional do Serviço Geológico do Brasil - CPRM intitulado “Estudos Integrados em Bacias Experimentais e Representativa – Região Serrana – RJ - EIBEX”. Atualmente, a CPRM opera uma rede hidrometeorológica com 13 estações, sendo

11 fluviométricas, em uma sub-bacia da bacia do Rio Piabanha com 400 km<sup>2</sup>, chamada de bacia representativa. A bacia representativa reúne as características de uso de solo e vegetação da bacia do rio Piabanha. Inserida na bacia representativa, foram definidas três bacias experimentais relacionadas aos principais usos e ocupação do solo, quais sejam: bacia de uso urbano, uso agrícola e mata preservada, respectivamente, com as seguintes áreas: 47 km<sup>2</sup>, 30 km<sup>2</sup> e 13km<sup>2</sup>. (Villas-Boas et al., 2011).

O rio Piabanha é afluente pela margem direita do rio Paraíba do Sul, uma bacia de relevância nacional por abrigar municípios dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. A sua bacia ocupa uma área de aproximadamente 2.050 km<sup>2</sup> e sofreu um crescimento urbano inadequado resultando em problemas tais como: desmatamento, deslizamentos, enchentes e poluição de alguns cursos d'água (ARAÚJO et al., 2007).

A Figura 1 apresenta a localização da bacia do Piabanha, as bacias representativa e experimentais e a rede hidrometeorológica. Para o estudo foram selecionadas as estações da bacia rural e da bacia agrícola que apresentam fundo rochoso listadas na Tabela 3

Tabela 3. Estações selecionadas para o estudo

ESTAÇÃO	Sigla	Código
Poço Tarzan	PT	58400110
Poço do Casinho	PC	58400104
Joao Christ	JC	58400108
Rocio 2 - Ponte	R	58400212
Rocio 2 - D	R	58400210
Rocio 2 - E	R	58400211

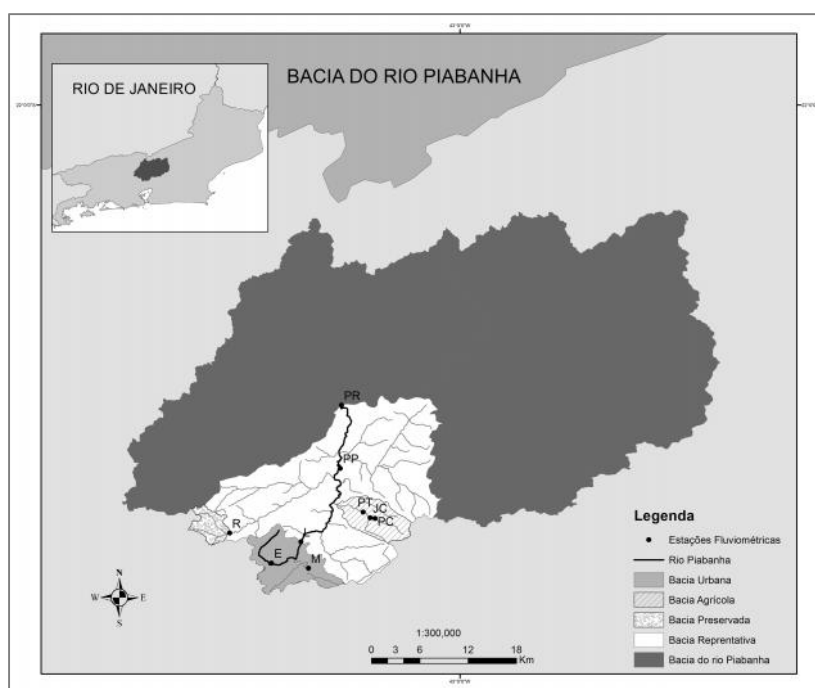


Figura 1 - Localização da bacia do Piabanha, as bacias representativa e experimentais e a rede hidrometeorológica.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das medições de vazão realizadas para o estudo são apresentados a seguir. Foram realizadas seis campanhas de medição de vazão em seis estações nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2016 e nos meses de janeiro, fevereiro e abril de 2017. Entretanto, por problemas operacionais nem todas as estações participaram em todas as campanhas.

O FlowTracker é um equipamento altamente sensível. É muito importante seguir as recomendações, como aquelas feitas pelo representante do fabricante do equipamento em relação : não se deve rodar a haste em busca de um melhor resultado de qualidade; o ângulo melhor  $< 20^\circ$ ; SNR  $> 10\text{dB}$ ; Spikes  $< 10\%$ .

Vale ressaltar que os rios onde foram feitas as medições eram bem estreitos com larguras variando de 1,80m a 10,50m. Na maior parte das medições os rios estavam com pouca profundidade gerando assim valores bem baixos de vazão. É possível notar valores elevados para o erro relativo percentual. Esses valores exorbitantes ocorreram, em sua maioria, em baixas profundidades, conforme Figura 6 que mostra os desvios percentuais para cada estação em relação à vazão medida pelo Flow Tracker. É possível observar que, em sua maioria, eles aumentam conforme a vazão diminui. Assim, acredita-se que a baixa profundidade agravou o efeito do fundo rochoso.

Dessa forma, elas podem ser justificadas por dois fatores. O primeiro seria a pouca vazão que, como já apresentado por outros trabalhos, gera distorções na medição com molinete. E o segundo seria o fundo rochoso que passa a influenciar mais nas medições quando o rio está baixo e que pode gerar medições imprecisas pelo FlowTracker. Já que o FlowTracker teve que ficar mais próximo do fundo para fazer a medições. Por exemplo, a estação Rocio Ponte (Figura 4) apresentou erros que variaram de 7 a 74% sendo os valores associados a vazões de 0,526 e 0,072  $\text{m}^3/\text{s}$  respectivamente (Figura 2). O fundo da estação Rocio Ponte, como pode ser observado na Figura 3, possui muitas rochas, que chegam a ficar aparentes quando o rio está mais baixo. Já no caso da estação Rocio BD que possui o fundo regular, mais estável, observa-se erros variando numa faixa de 2 a 18% e vazões associadas de 0,017 a 0,087  $\text{m}^3/\text{s}$  sendo os maiores erros nas menores vazões, provavelmente associados apenas ao molinete. As demais estações tiveram erros variando entre 0,7 e 75% (Figura 6). Vale ressaltar que as medições que apresentaram os erros mais elevados estavam associadas a valores ângulo, SNR e Spikes fora dos padrões recomendados.

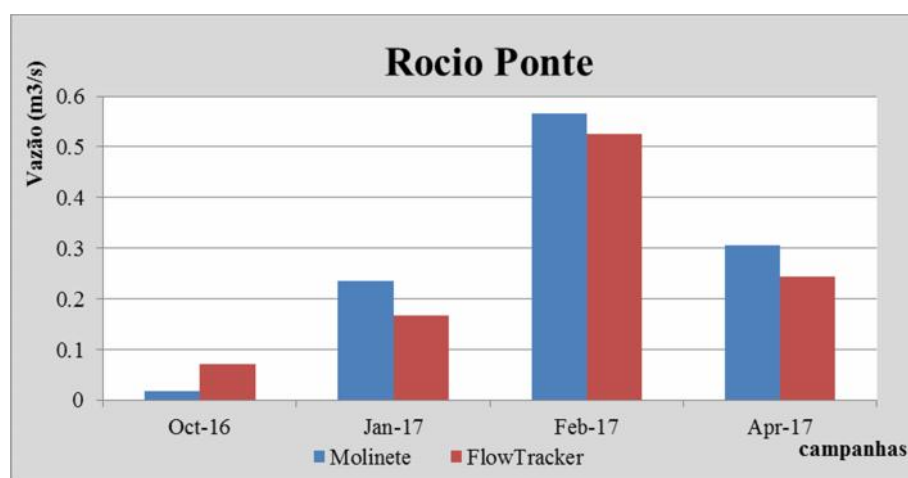


Figura 2 – Valores de vazão para as estação Rocio Ponte.

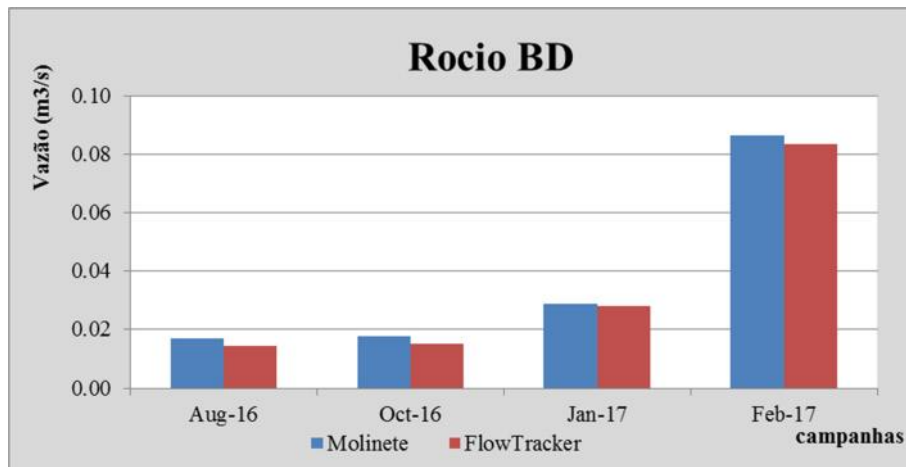


Figura 3 – Valores de vazão para as estação Rocio BD.



Figura 4 – Medição com FlowTracker na estação Rocio Ponte.



Figura 5 – Medição com micro molinete na Estação Rocio BE.

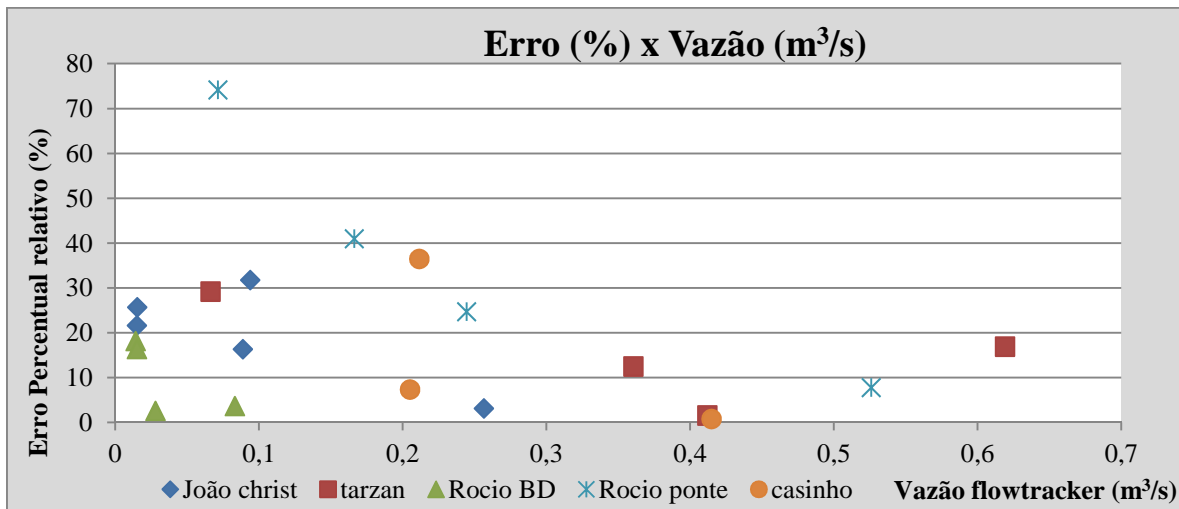


Figura 6 - Erros percentuais relativos associados às vazões medidas com Flow Tracker.

Após essa série de medições com os dois equipamentos é possível fazer algumas considerações. De um modo geral, a medição com o FlowTracker é mais rápida do que com molinete, entretanto, para rios com fundo rochoso pela alta sensibilidade do FlowTracker a medição, normalmente, fica fora dos padrões de qualidade e é necessário medir novamente. O USGS recomenda que sejam monitoradas velocidades pouco realísticas e com valores de SNR elevados. Afirma, também, que o FlowTracker pode ser usado perto de obstáculos, no entanto, um cuidado extra deve ser tomado nessas situações ((BLANCHARD, 2004).). Como resultado, o tempo total de medição fica maior do que com o molinete. Outra dificuldade enfrentada foi com relação ao posicionamento da haste. Como a base da haste é larga (bem mais larga do que a do micromolinete usado), houve dificuldade para apoiá-la em locais mais estreitos dificultando a medição. Com relação à operação, o FlowTracker se mostrou vantajoso pelo fato de requerer apenas um operador enquanto para o micromolinete utilizado são necessários dois. Isso é uma grande vantagem em rios com fundo rochoso, que muitas vezes, tem acesso complicado.

## CONCLUSÃO

A partir dos resultados do estudo foi possível perceber a interferência do fundo rochoso nas medições com o FlowTracker. Alguns trabalhos evidenciaram o melhor desempenho do FlowTracker em relação ao molinete em baixas profundidades. Esse fato, também foi observado. Entretanto, o trabalho demonstrou que em fundo rochoso, em baixas profundidades, o FlowTracker pode ter uma performance inferior ao molinete, podendo até gerar medições imprecisas.

Recomenda-se a continuidade das medições, pelo menos até completar um ano hidrológico, inclusive, na parte urbana da bacia onde os rios tem leito mais regular para comparar a performance dos dois equipamentos.

## AGRADECIMENTO

Esse trabalho contou com financiamento do MCT / FINEP / CT-HIDRO e Coordenação da Melhoria do Pessoal de Educação Superior - CAPES – Brasil (MEC / MCTI / CAPES / CNPq).

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. M. N.; MORAIS, A.; VILLAS-BOAS, M.D. et al Estudos Integrados de Bacias Experimentais Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piabanha. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 11., 2007, São Paulo. Anais...
- BLANCHARD, S.F. (2004). *Policy on the use of the FlowTracker for discharge measurements*.
- CLEAN ENVIRONMENTAL in <http://www.clean.com.br/Produto/Detalhe/53> acessado em 16/05/2017)
- COELHO, L.S., RÊGO e SILVA, J.F, FARIAS, J.A.M..Análise comparativa dos medidores descarga convencional (molinete) e medidores acústicos Flowtracker – adv (velocímetro acústico doppler) em Medições a vau, nas sub-bacias 35 e 36 no estado do ceará. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 11., 2011, Maceió. Anais...
- GAMARO, P.E.M., RIBEIRO, S.N., Estudo do uso de medidores acústicos de velocidade para avaliar sedimentos em suspensão em rios. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 11., 2007, João Pessoa. Anais...
- LEBEL, T.; TAUPIN, J.D.; D´AMATO, N. (1997). Rainfall monitoring during HAPEZ-Sahel. 1. General rainfall conditions and climatology. *Journal of Hydrology* 188-189(1-4), pp. 74 – 95.
- Office of Surface Water Technical Memorandum (2004-04).
- SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E., LAUTERT, L. F. (2001). *Hidrometria aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
- VILLAS-BOAS, M.D., BASTOS, A.O., ARAÚJO, L.M.N., SILVA, F.J., MONTEIRO, J.G.P., A.E.G.C, 2011. Manejo do uso do solo como mecanismo regulatório da gestão da qualidade da água - estudo de caso: a bacia do rio Piabanha. In: XIVth IWRA World Water Congress, Setembro de 2011, Porto de Galinhas, IWRA, 2011.