



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

SISTEMA DE CALIBRAÇÃO E TESTE DE SENSORES DE PRECIPITAÇÃO

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

Aderson Stanley Peixoto Santos (UFRN, Bolsista PIBIC/CNPq/INPE)
E-mail: stanleys@gmail.com

Msc. Marcos Aurélio F. dos Santos (INPE, Orientador)
E-mail: aurélio@crn.inpe.br

COLABORADOR

Dr. Fernando Moreira da Silva (UFRN)

INPE
CRN-NATAL
2009



SISTEMA DE CALIBRAÇÃO E TESTE DE SENSORES DE PRECIPITAÇÃO

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

Aderson Stanley Peixoto Santos (UFRN, Bolsista PIBIC/CNPq/INPE)
E-mail: stanleys@gmail.com

Msc. Marcos Aurélio F. dos Santos (INPE, Orientador)
E-mail: aurélio@crn.inpe.br

COLABORADOR

Dr. Fernando Moreira da Silva (UFRN)

INPE
CRN-NATAL
2009

RESUMO

O relatório apresentado tem o objetivo de traçar o encaminhamento das pesquisas relativas à proposta do plano de trabalho do projeto de iniciação científica, cujo cunho nesta etapa está voltado no estudo das metodologias empregadas na realização da calibração e testes dos sensores de precipitação existentes. Dessa forma pretende-se obter o conhecimento para a criação de um sistema de calibração dos pluviômetros de tipo *Tipping-Bucket* utilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em suas Estações Meteorológicas Automáticas.

FINISH REPORT OF THE PROJECT OF SCIENTIFIC INITIATION
(PIBIC/CNPq/INPE)
SYSTEM OF CALIBRATION FOR TEST OF PRECIPITATION SENSORS

ABSTRACT

The report aims to trace the routing of research on the proposed work plan of the project of scientific initiation, whose imprint at this stage focuses on the study of the methodologies employed in conducting the tests and calibration of sensors of precipitation exist. Thus it is intended to obtain the knowledge to create a system for calibration of ombrometer Tipping-Bucket type used by the National Institute for Space Research (INPE) in their Automatic Weather Stations.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	05
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	06
3.1. MÉTODOS DE SISTEMAS DE CALIBRAÇÃO E TESTES.....	07
3.1.1. Bancada de Calibração de Overgaard; El-Shaarawi & Nielsen (1998).....	07
3.1.2. Bancada de Calibração Braga. (2005).....	09
3.1.3. Bancada de Calibração de Humphrey et al. (1997).....	10
3.1.3. Bancada de Calibração Alexandropoulos & Lacombe (2005).....	12
3.1.4. Bancada de Calibração Lanza & Stagi (2006).....	13
3.2. UM MÉTODO ANALÍTICO DE CALIBRAÇÃO.....	15
3.2.1. Aplicação Metodológica: Estudo de Caso.....	15
3.2.2. Curvas de Calibração.....	16
4 RESULTADOS E ANÁLISES.....	17
5 CONCLUSÕES.....	18

1. INTRODUÇÃO

Pelo fato da capacidade de interferência da precipitação sobre as atividades urbanas e rurais ocorrente nas mais distintas áreas e devido ao custo de manutenção das estações convencionais cada vez mais observaram a implementação das Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) no intuito do monitoramento meteorológico e climático no âmbito nacional e global. Neste estudo os instrumentos tomados como foco, voltados à análise da pluviometria, são chamados de *Tipping-Bucket Rain Gauge*, conhecidos em português por: pluviômetros de caçamba de basculamento.

O objetivo nesta etapa do trabalho de iniciação científica é respaldar o estudo das metodologias empregadas na realização da calibração e testes dos sensores de precipitação existentes

Dessa forma, é importante ressaltar a valia que é a calibração desses instrumentos para que realizem medições da pluviosidade das diversas escalas de área coerentes com a realidade. Conforme Mata (1984, p.64) e Ometto (1981, p.193) apud Santos, A. e Santos M. (2008), estas medições possibilitam o conhecimento da quantidade de água disponível em uma área qualquer e colaboram para a modelagem do comportamento da pluviosidade nas diversas regiões. De acordo com a Organização Mundial de Meteorologia- OMM, (Capítulo 5, Parte III, p. 4):

Calibração é o conjunto de operações que estabelecem, sob condições específicas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição e os correspondentes valores conhecidos de um mensurando, isto é, uma quantidade sujeita a medição.

Dessa forma notamos que a calibração se vale da intercomparação entre instrumentos no intuito de colocar um deles de acordo com os valores (aproximados) do

outro (considerado como padrão de análise). Assim, os procedimentos utilizados para a calibração dos pluviômetros permitem a escolha e a correção de um sistema de aquisição de dados pluviométricos de forma que diminuamos o erro do pluviômetro medido na comparação com os valores do instrumento de medição padronizada, no caso, do pluviômetro Ville de Paris.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades no período de 3 de Março de 2008 à 30 de Junho de 2009 concernentes à efetivação da proposta do plano de trabalho (Quadro 1) buscam o baluarte teórico relativo a temática da montagem de um sistema de calibração e testes de sensores de precipitação em artigos científicos e em sites de empresas voltadas à criação e manutenção de instrumentos para pluviometria.

Quadro 1: Plano de trabalho proposto para sistematização das etapas

1. Estudos dos princípios de medidas de precipitação atmosférica;
2. Estudos do conhecimento dos sensores de precipitação existentes e seus princípios de funcionamento;
3. Estudo e identificação de métodos e procedimentos utilizados para calibração e testes de pluviômetros;
4. Identificação de Equipamentos e produtos existentes no mercado nacional e internacional utilizados na calibração e testes de pluviômetros do tipo tipping-bucket;
5. Gerar Documentação detalhada dos itens anteriores, incluindo planilha de custos e equipamentos e serviços necessários à implementação de um sistema para calibração de pluviômetros do tipo analisado.

As atividades procedem no período supracitado nas instalações da sede do INPE no Rio Grande do Norte, Natal/RN, especificamente nas salas 24, 25, 20 pertencentes à Seção Gama.

A proposta posta pelas etapas 1 e 2 do trabalho mostrou-nos como procedemos para a coleta e medição de dados ligados à precipitação, no intuito de esclarecer e auxiliar no entendimento quanto a importância dessas medidas para a modelagem da variável chuva no respaldo das dinâmicas sociais. Além de apresentar os distintos instrumentos utilizados na aquisição desses dados, tais como: pluviômetros convencionais, automáticos (sônicos e caçamba de basculamento) e radares. Estes foram apresentados no primeiro relatório final apresentado no ano de 2008.

Alguns métodos e procedimentos e produtos utilizados das etapas 3 e 4 foram realizadas além de estarem em procedimento são respaldadas neste relatório. A questão da planilha de custo é fato interessante, pois variam de acordo com o preço das cotações do dólar, portanto são variáveis. Consideramos, portanto, peça de menor importância no trabalho desenvolvido.

3.1. MÉTODOS DE SISTEMAS DE CALIBRAÇÃO E TESTES

Para a criação de um sistema de gestão calibrativo, observamos que o método praticamente é o mesmo utilizado entre os diversos autores. Este método dá-se na utilização de instrumentos, tais como: bomba peristáltica, suporte padrão, reservatório de água em nível constante, balança de precisão, computador, procedimentos estatísticos e softwares criados na finalidade da simulação dos fluxos da água no pluviômetro e correção (redução) estatística do erro.

3.1.1. Bancada de Calibração de Overgaard; El-Shaarawi & Nielsen (1998)

Os pluviômetros testados por esses estudiosos foram 5 (cinco) pluviômetros modelo RIMCO com canais de tamanhos distintos quando comparamos-os com o pluviômetro convencional do tipo Hellmann utilizado como padrão pelo Comitê de Controle da Poluição da Água da Dinamarca - DWPCC.

Em seus trabalhos, esses autores verificaram que existe uma relação entre o volume do canal e a precisão dos pluviômetros quando comparados nas medições volume e intensidade. Observamos no estudo, que o volume necessário para o desempenho satisfatório do pluviômetro deste modelo empregado pelo DWPCC é aquele em que o volume do canal seja inferior a metade do tamanho da caçamba, ou seja, entre 35%-45% do volume da caçamba.

O canal permite a condução de maneira controlada da água até as caçambas, porém depende da intensidade das chuvas. Por isso notamos a importância em que está em encontrar o volume do canal mais apropriado.

Notamos que, de acordo com esses pesquisadores, obedecendo a esses requisitos poderemos chegar à relação de proximidade linear entre o pluviômetro automático a ser escolhido e o considerado como padrão. De acordo com o exposto no artigo, verificamos que nos testes laboratoriais usou-se de: uma bomba peristáltica, uma balança eletrônica, veja a Figura 2.

A bomba é usada para produzir uma intensidade de “chuva” controlada, na qual é fornecida ao modelo RIMCO. A balança é usada para verificar o valor da precipitação coletada. Desse modo como eles afirmam “sabendo o número de quedas por intervalo de tempo, e sabendo o valor do volume da água e quais as causas da queda da caçamba, a intensidade pode ser facilmente calculada”.

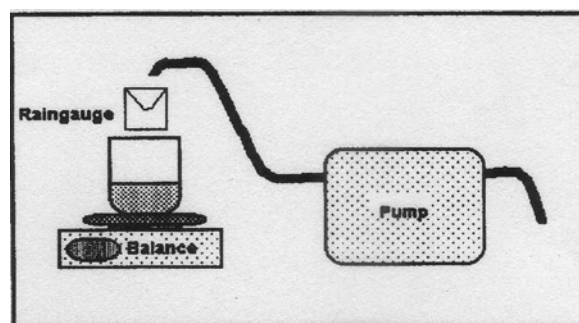


Figura 2: Calibração de pluviômetro.

A análise estatística implementada no estudo apresentado no artigo é baseada na Análise de Variância, onde o número de quedas das básculas é usado para análise de variância.

3.1.2. Bancada de Calibração Braga. (2005)

Braga utilizou o pluviômetro da Global Water modelo RG200 (Figura 1) para a calibração. Para tal, observamos que este o conectou a um datalogger modelo GL300 e a um dispositivo criado funcionando no mesmo princípio de uma bomba peristáltica (goteja água de maneira controlada sobre o pluviômetro), uma vez que não havia disponibilidade de uso desta.

Braga também utilizou em seu experimento uma bureta comum com capacidade para 100 ml fixada em uma haste suporte, um reservatório com capacidade para 5 litros, que, por sifonagem realimenta o sistema ao longo do experimento. A água coletada pelo *Tipping Bucket* passa e se acumula ao final em um balão volumétrico de fundo chato de capacidade para 1L. No final de todo o processo, o volume resultante no balão era medido. Podemos observar o sistema pela figura 3 (foto 1) abaixo:

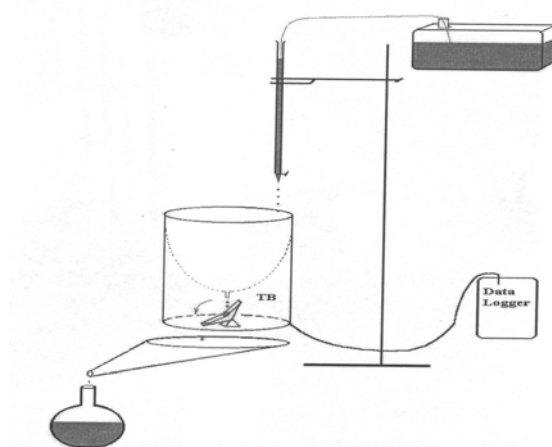


Figura 3: Calibração do pluviômetro por Michelloto

Importante frisarmos que a água utilizada no experimento era água deionizada, uma vez que “a pequena torneira de vidro que controla o gotejamento da bureta tende a entupir-se em caso da utilização de água comum, alterando [...] a velocidade de gotejamento” (BRAGA, 2005, p. 109).



Foto 1: Bancada de calibração de Michelotto (2005)

Em sua análise dos dados feitos pelo teste do pluviômetro comparando-os aos valores informados pelo fabricante, notamos que Braga encontrou diferença entre os valores de 20% com relação aos dados informados. O que é um fator a levarmos em consideração. Além de observar que a intensidade da precipitação influi na resposta do sensor.

3.1.3. Bancada de Calibração de Humphrey et al. (1997)

A bancada de calibração de Humphrey et al (1997, p.1514) utiliza em seu sistema: computador, bomba, balança digital programável, datalogger, suporte padrão, balão coletor, distribuição RS232, reservatório de água em nível constante (figura 4).

O computador é interfaciado a bomba através de uma porta serial e é também interfaceada a balança (durante a calibração da bomba) ou ao datalogger (durante a calibração do pluviômetro usando uma segunda porta serial e distribuição).

Neste processo, dois métodos de calibração são utilizados no qual o autor denomina de calibração estática e calibração dinâmica. Para o método de calibração estática de acordo com Humphrey (1997, p 1513):

O pluviômetro é nivelado, a caçamba é ajustada até a aplicação de um volume específico de água (usualmente adicionado à caçamba gota por gota usando uma pipeta) que cause a queda da caçamba. Este procedimento é repetido várias vezes para cada caçamba, e um volume médio para ambas as caçambas é calculado. Os volumes medidos das caçambas podem variar em 5% dependendo do tipo de água usada (pluviais versus água da torneira).

Para o método da calibração dinâmica procura contabilizar o “baixo represamento da água calibrando o TBR enquanto as caçambas estão em movimento.

De acordo com Calder e Kidd (1978) apud Humphrey et al. (1997, p. 1514) baseados na determinação dos parâmetros de medição “V” (volume da caçamba) e “t” (é o tempo da caçamba mover do estágio em posição virava para uma posição que coloca a divisão entre os segmentos da caçamba diretamente abaixo do funil interior).

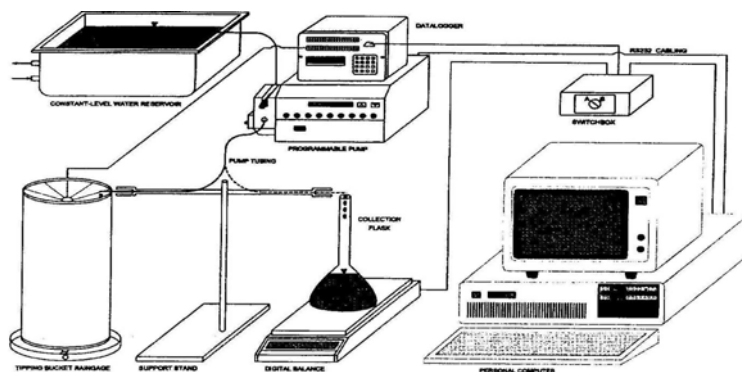


Figura 4: Componentes do sistema de calibração automática do pluviômetro

Tanto a bomba peristáltica como o pluviômetro são calibrados neste sistema em que ambas as calibrações, respectivamente, são controladas pelos programas de computador PUMPCAL e RAINCAL. Como o próprio Humphrey (1997, p. 1515) afirma:

Quando o volume alvo para uma taxa tenha sido entregue para o balão de coleta, o equilíbrio de leitura é gravado e a bomba começa a próxima avaliação. A informação de calibragem (ou seja, escolha da bomba de avaliação, os volumes entregues, temperatura da água, etc., entrada pelo usuário) e resultados da calibração da bomba são salvos para um usuário específico ASCII arquivo.

3.1.3. Bancada de Calibração Alexandropoulos & Lacombe (2005)

A bancada proposta por Alexandropoulos & Lacombe (foto 2), ambos do laboratório de intercomparação de Trappes (França), compõe-se de:

- balança digital de precisão;
- bomba peristáltica,

Ambos ligados a um PC com software específico.

A água é injetada através de um tubo para as caçambas por uma bomba peristáltica (resolução de 0,01g, com faixa de trabalho até 5Kg). Esta bomba é controlada pelo computador, tanto para o seu fluxo iniciar como para estacionar. Esta bancada permite a geração de uma gama de 3 mm/h até 2000 mm/h intensidade sobre as básculas do pluviômetro.

De acordo com os autores, notamos que um software específico (não identificado) controla a bomba, estabelece uma determinada intensidade, conta um

determinado número de gotejamentos, ou massa ou condutividade e recebe a variação da massa de água no recipiente (sobre a balança). A quantidade de precipitação nas básculas é medida em comparação com a diminuição da massa sobre o saldo e calcula a diferença expressa em porcentagem. A incerteza associada à calibração é de cerca de 1%.

Para os testes, estes adotaram sete referências de intensidades fixadas, dando importância para as intensidades maiores, uma vez que são de maior valia no estudo da intercomparação. As faixas de trabalho foram estabelecidas em: 2, 20, 50, 90, 130, 170, 200 mm/h.



Foto 2: Bancada de calibração: balança de precisão (seta preta); bomba peristáltica (seta azul).

3.1.4. Bancada de Calibração Lanza & Stagi (2006)

A metodologia adotada é baseada na geração de um fluxo (caudal) de água em um canalizador que deve estar dentro da gama de funcionamento relatado pelo fabricante do instrumento.

A água é canalizada utilizando um coletor do instrumento, sob controle, para simular a intensidade da chuva constante. O fluxo é medido pelo peso da água em um

determinado intervalo de tempo. O sinal de saída do instrumento é medido a intervalos regulares ou quando um pulso proveniente do instrumento em si. Então, comparada a duas medidas a partir da chuva e do simulador da chuva é determinada a diferença entre o fluxo real de água transportada através do instrumento e da intensidade da precipitação medida pelo pluviômetro (figura 5).

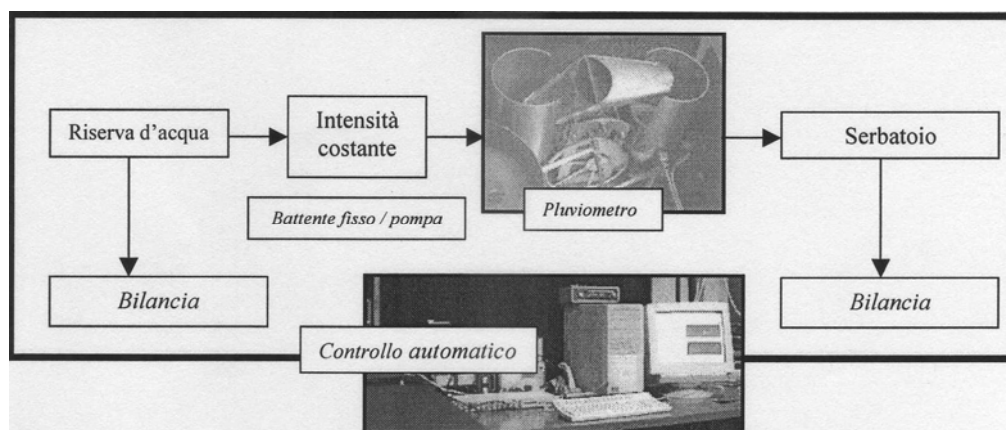


Figura 5: Esquema da Bancada de Calibração Lanza & Stagi (2006).

A diferença relativa entre as duas medidas é tomada como o erro relativo do instrumento para a medida (intensidade) de referência atribuída. A medição da intensidade da chuva é influenciada pelo tempo de resposta do sistema de aquisição.

A duração do ensaio e da extensão da massa foram os fatores para determinar o controle de erro em cada teste. Os valores de referência de massa e comprimento foram escolhidos de forma que a incerteza da intensidade de referência é inferior a 1%, tendo em conta a resolução do instrumento. Cada teste foi realizado em pelo menos sete intensidades distintas.

Em particular, observamos que os autores colocam as sete intensidades de referência para o estudo como sendo: 2, 20, 50, 90, 130, 170 e 200 mm h⁻¹, mensuráveis e onde a máxima declarada pelo fabricante é inferior ou igual a 500 mm h⁻¹,

Finalmente, acima deste limite foi identificada três referências adicional intensidade dentro da gama de funcionamento do instrumento obtido pela divisão logarítmica relação com o intervalo de medição entre 200 e mm h⁻¹ a intensidade máxima declaração.

3.2. UM MÉTODO ANALÍTICO DE CALIBRAÇÃO

Procedemos com um estudo de caso por meio de métodos estatísticos tais como: correlação dada pelo coeficiente de Pearson, regressão e coeficiente de determinação.

A correlação mostra a relação de proximidade entre os dados, variando de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 melhor é a correlação. Já a regressão é um método que permite apresentar a relação de uma variável dependente (no caso do estudo o pluviômetro PC04) com a variável específica (no caso o pluviômetro padrão Ville de Paris).

O coeficiente de determinação é uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra, portanto esta depende da correlação apresentada pela composição dos dados de referência padrão e os tomados para averiguação frente a esse padrão.

3.2.1. Aplicação Metodológica: Estudo de Caso

Uma aplicação metodológica, neste projeto, foi à obtenção de dados comparativos para a calibração dos instrumentos de medição da precipitação, a partir do pluviômetro padrão *Ville de Paris*, instalado na Estação Climatológica da UFRN, para que comparássemos com o pluviômetro de uma estação de fabricação da Global Water localizada, também, na área da estação convencional.

Para tanto, instalamos um pluviômetro RG 200 6 (Figura 1) da Global Water, cuja resolução está em 0.01 polegadas, tipo *Tipping-Bucket*, junto ao Laboratório de Variáveis Ambientais Tropicais – LAVAT/CRN/INPE – vizinho a estação meteorológica convencional da UFRN. Na sistematização da coleta de dados, optou-se por intervalos de tempo de 30 minutos entre os dias 09/05/09 e 11/05/09. Para cada análise os pluviômetros verificados denominam-se de PC04 UFRN, a que é tomada por referência é o pluviômetro *Ville de Paris*.



Figura 1: Pluviômetro modelo RG 200 da Global Water

Valemo-nos, neste estudo, das recomendações da OMM (2008) quanto “a validade observacional dos dados só pode ser obtida quando um exaustivo programa de controle de qualidade (CQ) se aplica aos instrumentos e as redes” uma vez que esta instituição versada pela ISO (Organização Mundial de Normatização) busca pela padronização de sistemas e ações.

3.2.2. Curvas de Calibração

Procuramos avaliar uma equação de calibração a partir de teorias da estatística, conforme item 3.2, a fim de corrigir distorções no pluviômetro da Global Water.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Observamos por meio dos cálculos que a equação calibrativa do pluviômetro denominado de PC04 (a qual queremos calibrar) frente ao pluviômetro *Ville de Paris* é apresentado pela equação:

$$Y = 0,223PCO4 + 0,0054$$

Onde o Y corresponde aos valores obtidos pelo pluviômetro *Ville de Paris*.

Podemos averiguar a medida de dispersão apresentada entre estes pluviômetro pelo gráfico 1 abaixo:

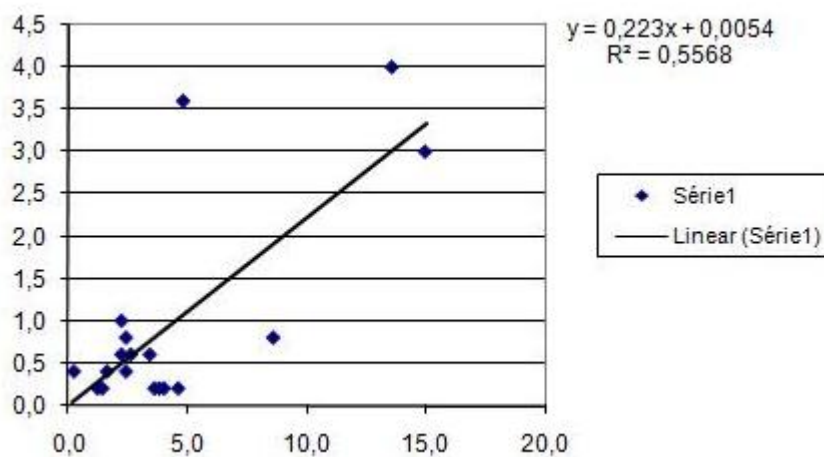


Gráfico 1: Dispersão dos dados medidos ao padrão

Notamos que o coeficiente de determinação apresenta correlação estranha, devidamente por erros instrumentários no pluviômetro PC04.

Entendemos, portanto, que tanto a mecânica como a insuficiência de dados contribuíram para a “estranheza” da equação na calibração do instrumento PC04.

5. CONCLUSÕES

O resultado obtido com a pesquisa nos mostra que, como já afirmado, os princípios dos sistemas de calibração são semelhantes, porém a metodologia estatística e o método de trabalhos da variável chuva sobre o sistema são as distinções do processo.

Com a pesquisa podemos também verificar a importância da calibração nos estudos ligados à padronização dos instrumentos de uma rede de coleta de dados ambientais.

A implementação do plano de trabalho proposto proporcionou um aprofundamento da temática, tornando possível uma colaboração para o desenvolvimento de metodologias próprias para o contexto nacional, utilizando para tal os pluviômetros do tipo *Tipping-Bucket*.

O estudo de caso mostrou que é possível criar e/ou usar métodos de calibração disponíveis na literatura, com uma boa acuidade.

A conclusão das etapas postas pelo projeto é o subsídio inicial quanto às pesquisas relativas à contribuição para a ciência e para a criação de um laboratório com um sistema de calibração e teste de pluviômetros para o CRN/INPE, entretanto se faz necessário a continuação de estudos uma vez que cada vez mais surgem métodos e criações de softwares que possibilitam os procedimentos calibrativos mais eficazes na redução de incertezas do instrumento base do projeto o pluviômetro do tipo *Tipping-Bucket*.

REFERÊNCIAS

BRAGA, Sérgio Michelotto. **Análise do potencial de utilização de sensores automáticos hidroambientais**: estudo de caso da bacia do rio Barigui. Dissertação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia da UFPR. 2005.

MAGINA, Flávio de Carvalho (INPE – CPTEC). **Sensor de Precipitação ou Pluviômetro**. Disponível em: < <http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/> > Acesso em 14 de Junho. 2008.

MATA, Mário E. R. M. Cavalcanti. **Núcleo de Tecnologia em Armazenagem: Climatologia na Armazenagem de Produtos**. Campina Grande. Universidade Federal da Paraíba. p. 64 - p. 67. 1984

OMETTO, José Carlos. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo. Editora Agronômica Ceres. 1981.

SANTANA, Márcio A. A., GUIMARÃES, Patrícia L. O. **Metrologia Básica Aplicada à Instrumentação Meteorológico-Ambiental**. Curso de Metrologia Básica. 1ª ed. Cachoeira Paulista. São Paulo, 2008.

SANTOS, A. S. P., SANTOS, Marcos A. F. dos. Sistema de Calibração e Teste de Sensores de Precipitação. In: Seminário de Iniciação Científica do INPE. 2008. São Paulo. **Livro de Resumos**. São José dos Campos: INPE. 2008. p. 75-75. Disponível em: < <http://www.inpe.br/pibic/sicinpe/index.php> > Acesso em 22 de Jun. 2008.

SENTELHAS, Paulo C., CAMARONI, Paulo H. Inconsistência na Medida da Chuva com Pluviômetros de Bâscula Utilizados em Estações Meteorológicas Automáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 2, p. 301-304. 2002.

SILVA, Mário A. Varejão. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: INMET. Edição comemorativa. Gráfica e Editora Stilo, p. 399-p. 407. 2000.

_____. **Instrumentos Meteorológicos Utilizados em Estações de Superfície**. 4ª ed. Recife/PE. p. 83 – p.96. 1975.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. Lino do. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. 1ª edição. 7ª reimpressão. São Paulo. Nobel. p.198-p. 218. 1992.

TRIOLA, Mario F. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro/RJ: LTC, 2005

WMO. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. Seventh edition. WMO – nº8. 2006. Disponível em: < <http://www.wmo.ch/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/Draft-7-edition.html> >. Acessado em 12 de Abr. 2008.