

Guia para Medição de Precipitação



RESUMO

Determinar o volume de precipitação por observação direta é uma tarefa complexa. As chuvas variam muito com o tempo e o espaço, mesmo em pequenas distâncias e com pluviômetros adjacentes. Embora, em parte, seja devido à variabilidade natural, diferenças nas técnicas de medição de precipitação e erros decorrentes podem aumentar as diferenças observadas. Os pluviômetros convencionais estão sujeitos a uma ampla gama de falhas, que quase sempre são agravadas por condições de campo, como ventos fortes. Geralmente esses dispositivos exigem configurações específicas; além de nivelamento, calibração e limpeza constantes, e ficam vulneráveis a múltiplos erros se tais especificações não forem atendidas e gerenciadas.

Uma configuração de medição instável, complicada e trabalhosa representa um desafio para quem busca dados precisos a fim de respaldar decisões de irrigação, e uma operação fluida para colocá-las em prática. Com seu dispositivo Mark 2, dados dinâmicos e uma plataforma exclusiva de machine learning, a Arable introduz uma nova abordagem, cuja precisão foi comparada à de sensores padrão ouro. Vamos explorar a situação da medição de precipitação atualmente e ver como a Arable trabalha para otimizá-la.

- Trata-se de uma variável complexa, inconstante e sujeita às mudanças sutis no microclima.
- A maioria das declarações de precisão dos pluviômetros são validadas em um ambiente controlado, de laboratório.
- As condições climáticas do campo têm um papel significativo nos erros de medição dos pluviômetros.
- A maioria exige manutenção e calibração constantes para manter a precisão.
- A medição de chuva com menos componentes móveis e modelos de machine learning reduz os erros de forma significativa.

A precipitação é, geralmente, o elemento hidrológico mais variável em qualquer espaço, e sua caracterização é uma das mais necessárias e difíceis de corrigir. A precipitação apresenta vários modos para não-estacionariedade — a variabilidade em pequena escala induzida por processos como formação de nuvens, formação de gotículas e vento; e variabilidade em escala mais larga, induzida pelo movimento das frentes de chuva, pela geografia local e regional e, em alguns casos, pelo dossel da plantaçao.

A comparação de dados muito localizados, como os recebidos do Arable

Mark 2, para uma previsão ou para uma estação meteorológica distante pode apresentar um pouco desta variabilidade. Previsões geralmente refletem as condições prováveis em uma área extensa - pontos individuais podem apresentar mais ou menos chuva. O mesmo se aplica à estação meteorológica mais próxima; muitas estações meteorológicas nos EUA ficam em aeroportos sob condições que podem ser bem diferentes das que você vê nos seus campos. A variabilidade espacial pode ser significativa, como pesquisas demonstraram:

- Variabilidade de até 100% em pluviômetros com 500 metros

de distância entre si (Jensen and Pedersen 2005)

- Variabilidade de até 26% (ou mais) em pluviômetros com 250 metros de distância entre si (Pedersen et al. 2010)
- A variabilidade é altamente influenciada pelo tipo de chuva que está ocorrendo (Emmanuel et. al. 2012)

Você também pode perceber alguma variabilidade espacial ao comparar a precipitação entre seus dispositivos, caso estejam instalados em muitos campos. O valor de uma rede de dispositivos está em fornecer a imagem mais fiel de suas condições meteorológicas.

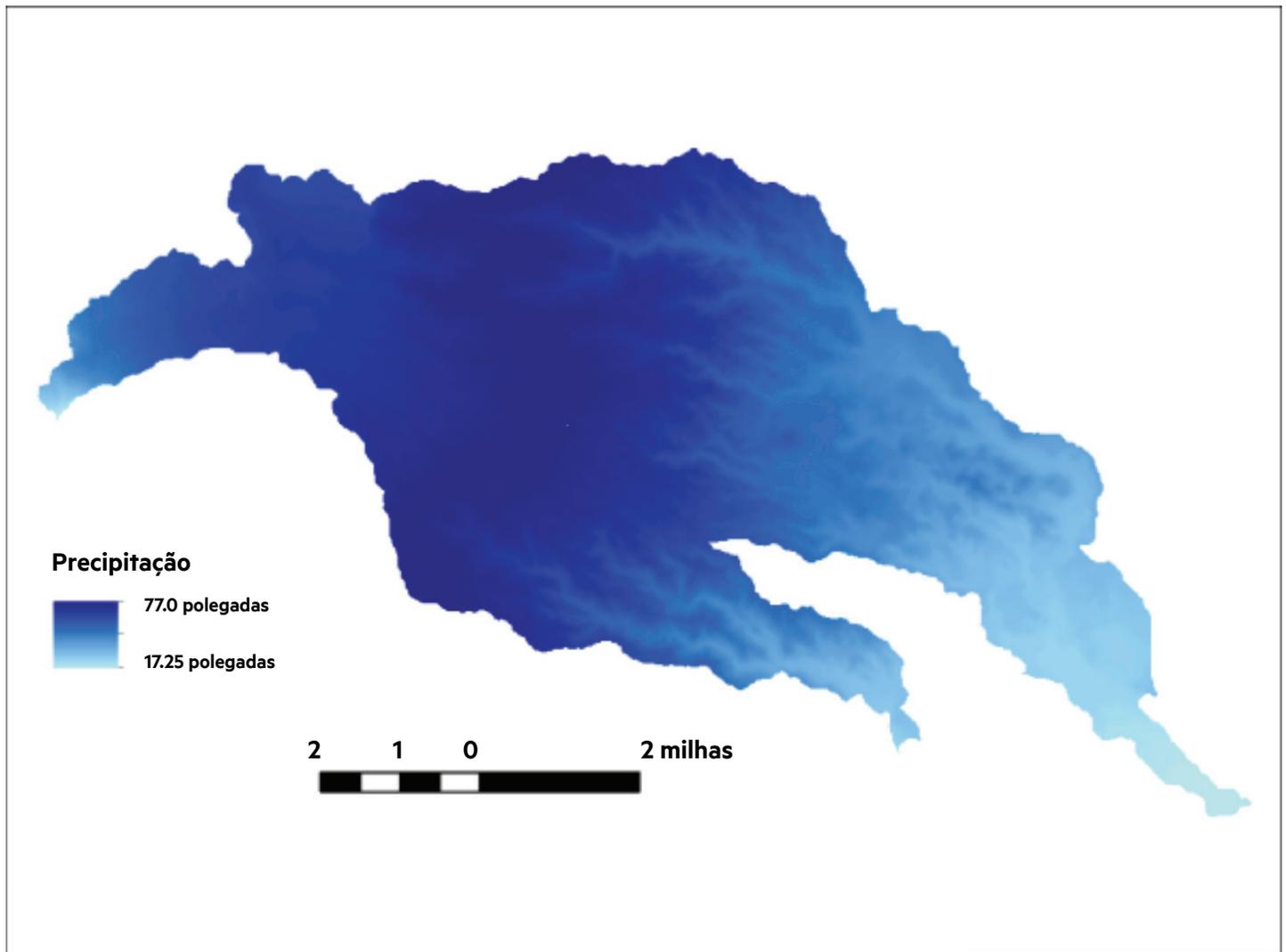


Figura 1. Há uma variabilidade espacial significativa de precipitação mesmo em pequenas distâncias (Mokondoko et. al. 2018).

Isso mostra que é comum notar variabilidade da chuva entre pluviômetros relativamente espalhados. Mas e quanto aos pluviômetros bem próximos uns dos outros (nos referimos a eles como “adjacentes”)? Observou-se que as medições realizadas por pluviômetros idênticos, separados por poucos metros,

registraram diferenças de até 20% (Curtis & Burnash 1996). Este resultado um tanto quanto chocante é devido à variabilidade natural da precipitação.

Um estudo de dois anos conduzido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) na Itália (E. Vuerich et. Al. 2009)

testou rigorosamente 25 pluviômetros conhecidos e de alta qualidade, incluindo os com sistema basculante e de pesagem, assim como disdrômetros ópticos e de impacto. Este foi um experimento controlado, em que todos os instrumentos foram colocados na mesma altura em um campo aberto, sem qualquer obstrução.



Figura 2. Local do teste de campo em Vigna di Valle, Itália (E. Vuerich et. al. 2009).

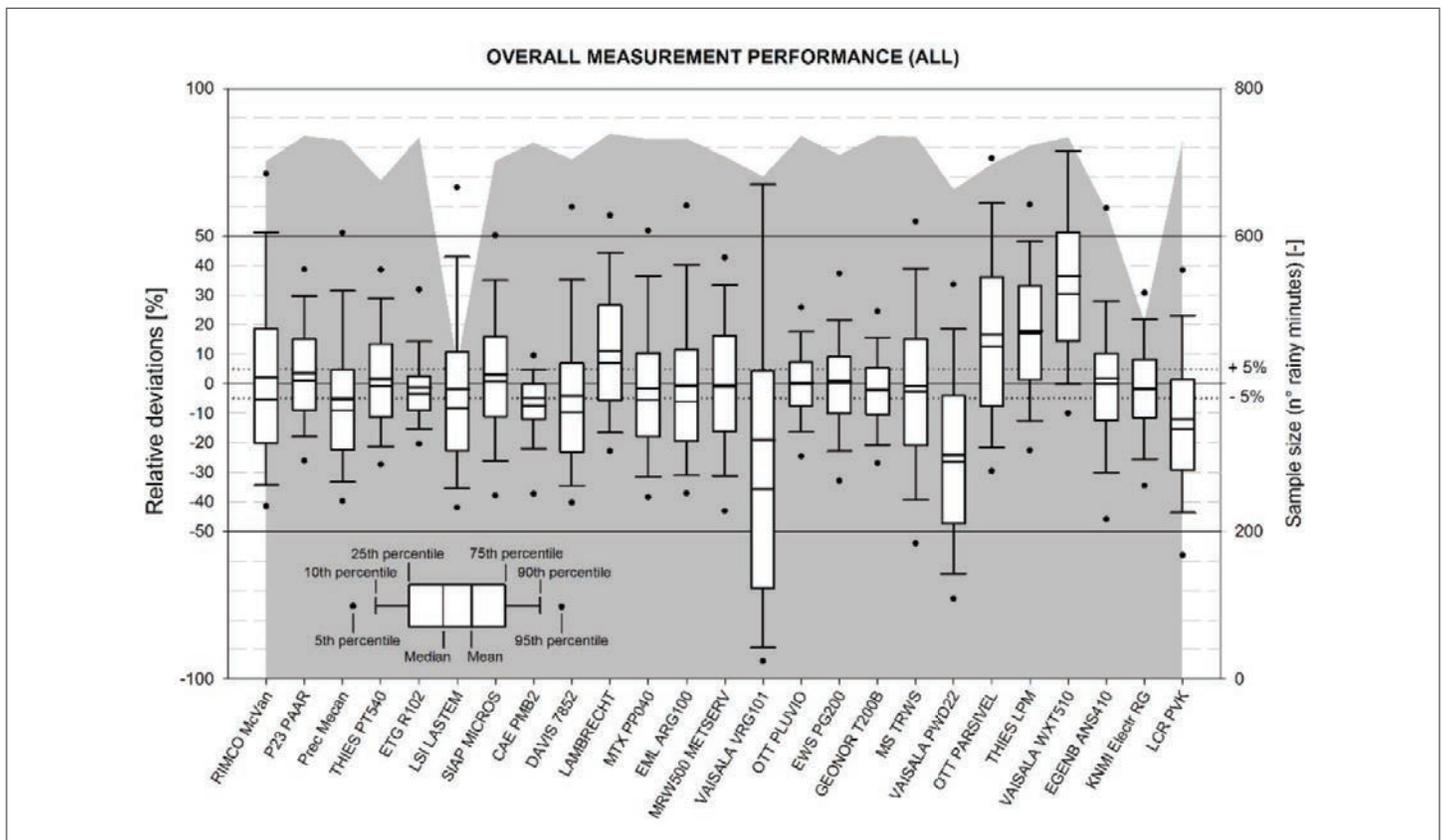


Figura 3. Média de erros relativos em toda a faixa de medição de todos os instrumentos analisados (E. Vuerich et. Al. 2009).

O estudo apontou uma grande variação de precipitação entre os pluviômetros, em que os instrumentos com pior desempenho apresentaram uma média de erros que subavaliou em mais de 20% e superestimou em mais de 30% (tenha em mente que essas foram as médias dos erros; houve casos atípicos de percentil 5 e 95, que subavaliaram em mais de 90% e superestimaram em mais de 70%). Mesmo entre os melhores instrumentos, ainda houve uma variabilidade considerável, com mais da metade de suas medidas apresentando erros acima de 5%. Esses resultados são compatíveis com outras descobertas sobre variabilidade, mesmo com pluviômetros adjacentes da mais alta qualidade, calibrados e bem conservados.

Pode parecer contraditório em relação ao entendimento geral sobre precisão dos pluviômetros, já que a maior parte das

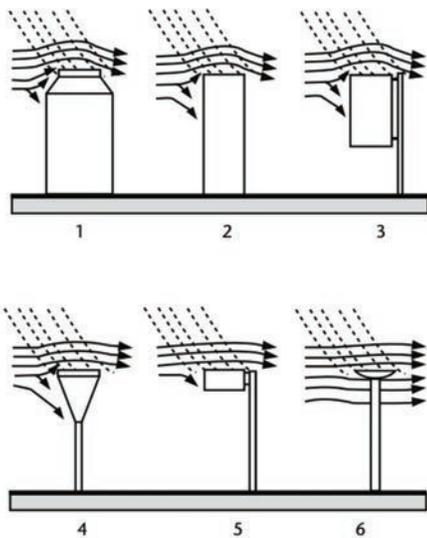


Figure 4. Different shapes of standard precipitation gauges. The solid lines show streamlines and the dashed lines show the trajectories of precipitation particles. The first gauge shows the largest wind field deformation above the gauge orifice, and the last gauge the smallest. Consequently, the wind-induced error for the first gauge is larger than for the last gauge (World Meteorological Organization 2018).

especificações de produtos costuma citar uma precisão em torno de 5% ou menos. Geralmente, essas métricas são derivadas das condições de teste em laboratório e, portanto, não consideram fatores importantes como vento ou variação do tipo de precipitação, além das intensidades típicas das condições de campo. Estas condições meteorológicas desempenham um papel significativo nos erros de precipitação. Desta forma, a precisão verdadeira dos pluviômetros é geralmente muito maior quando implementados no campo.

A OMM publicou um guia completo sobre a medição de variáveis meteorológicas, incluindo precipitação. De acordo com a OMM, os pluviômetros estão sujeitos a diversas fontes de erro, resultando em valores até 30% menores, até mais, que a precipitação real que atinge o solo (Organização Meteorológica Mundial 2018). A magnitude desses erros depende totalmente das condições meteorológicas, principalmente a velocidade do vento, o tipo e a intensidade da precipitação, e pode ser causada por:

1. Deformação sistemática do campo de vento acima do orifício do pluviômetro (2%-50%) —ver Figura 4
2. Perda de umidade nas paredes internas do coletor, bem como a perda de umidade no recipiente quando esvaziado (1%-15%)
3. Evaporação do recipiente (0-4%)
4. Respingos de água para dentro e para fora (1%-2%)
5. Erros sistemáticos de amostragem e mecânica, além dos erros de efeitos dinâmicos (5%-15%)
6. Erros instrumentais e observacionais aleatórios

A localização do instrumento e a geografia do local são fatores importantes que podem potencialmente agravar as inconsistências entre pluviômetros adjacentes. Por exemplo, alturas diferentes entre pluviômetros ou proteção variável em relação a diferentes direções do vento (como vegetação próxima que bloqueia diretamente o vento) resultam em diferentes velocidades de vento. Isso impactará a magnitude dos erros devido à aerodinâmica ao redor do orifício do pluviômetro, conforme mostrado na Figura 4. Este efeito gera consequências drásticas para a precisão da medição da precipitação; um estudo mostrou que a medição incorreta induzida é da ordem de 1% para cada milha por hora de vento no orifício do dispositivo (Larson & Peck 1974). A documentação de apoio para os principais pluviômetros basculantes recomenda uma altura de instalação de 2 pés em uma área com campo de visão sem obstruções (Davis Instruments 2009). Outras fontes comerciais alertam que “posicioná-lo em qualquer altura significativa poderá expor o pluviômetro aos efeitos do vento e, portanto, causar um registro impreciso da precipitação” e “até os objetos residuais, próximos ao equipamento, podem afetar os registros da precipitação” (Prodata Associates Ltd 2020).

Além de sujeitos às fontes de erro listadas acima, muitos pluviômetros são sensíveis a erros de nivelamento e precisam de limpeza regular e calibração frequente. Se as especificações recomendadas não forem seguidas, a eficácia do sistema poderá ser reduzida ainda mais e agravar os erros já presentes. Por exemplo, os fabricantes de pluviômetros informam que “a precisão é afetada significativamente

caso a unidade não esteja nivelada” (Davis Instruments 2009) e que “a limpeza constante é vital para a precisão dos registros” (Prodata Associates Ltd 2020). Além disso, o sistema pode exigir recalibração, como geralmente ocorre com vários pluviômetros. É comum que as calibrações dinâmicas deixem de ser realizadas por anos, mesmo após a data-limite. Portanto, os erros provocados por incrustação e desvios nos mecanismos basculantes (geralmente provocados pela expansão da água) são agravados. O desvio da calibração pode ser de 3% a 8% no primeiro ano no campo, embora os sensores variem em relação a sua resistência a desvios (United Kingdom Environment Agency 2004).

Adam Wolf, cofundador da Arable, assim resumiu os pluviômetros convencionais: “O principal problema com estes dispositivos é que eles acumulam sujeira, perdem a calibração, perdem água com pouca chuva (evaporação), com muita chuva (o basculante não dá conta)

e vento, que sopra a chuva para fora por causa da aerodinâmica.” Portanto, um dos objetivos de design do Arable Mark 2 era evitar os problemas com pluviômetros basculantes, entre outros — componentes móveis e desajeitados, acúmulo de detritos, insensibilidade a pequenos eventos de chuva, sensibilidade ao vento, etc.

A solução da Arable para medir precipitação é uma abordagem nova, que usa um disdrômetro acústico patenteado para capturar o som da chuva (Wolf et al. 2018). O disdrômetro “escuta” efetivamente as gotas de chuva que atingem o topo da cúpula. Conforme os dados de áudio são coletados, eles são analisados para determinar se a fonte do som é a chuva e todos os outros ruídos são filtrados e eliminados. O som da chuva é transformado em silos de energia, que então são mapeados em tamanhos de gotas individuais de chuva. O acúmulo e a caracterização do tamanho de cada gota é o que, por fim, gera a taxa geral de precipitação e a medida de chuva

acumulada.

Uma parte integrante deste processo é a aplicação de modelos de machine learning (ML) de regressão e classificação, que realçam as estimativas de precipitação. Esses modelos são construídos e treinados com base em dados coletados pela rede de Calibração e Validação (Cal/Val) da Arable, que conta com 36 locais de campo em todo o mundo (e crescendo) e gera milhões de pontos de dados todos os meses. Estes locais de campo são equipados com instrumentos padrão ouro para pesquisa, como o disdrômetro a laser OTT Parsivel2 de segunda geração (Nemeth e Beck 2011). Não usamos esses dados apenas para treinar nossos modelos, mas também para testar rigorosamente seu desempenho em diferentes condições de campo e zonas climáticas. Abaixo, na figura 5, podemos ver os dados de um ano inteiro, onde um Mark 2 foi instalado próximo a um OTT Parsivel2. O Mark 2 permanece monitorando o ano todo, com diferença percentual acumulada de apenas 1,5%.

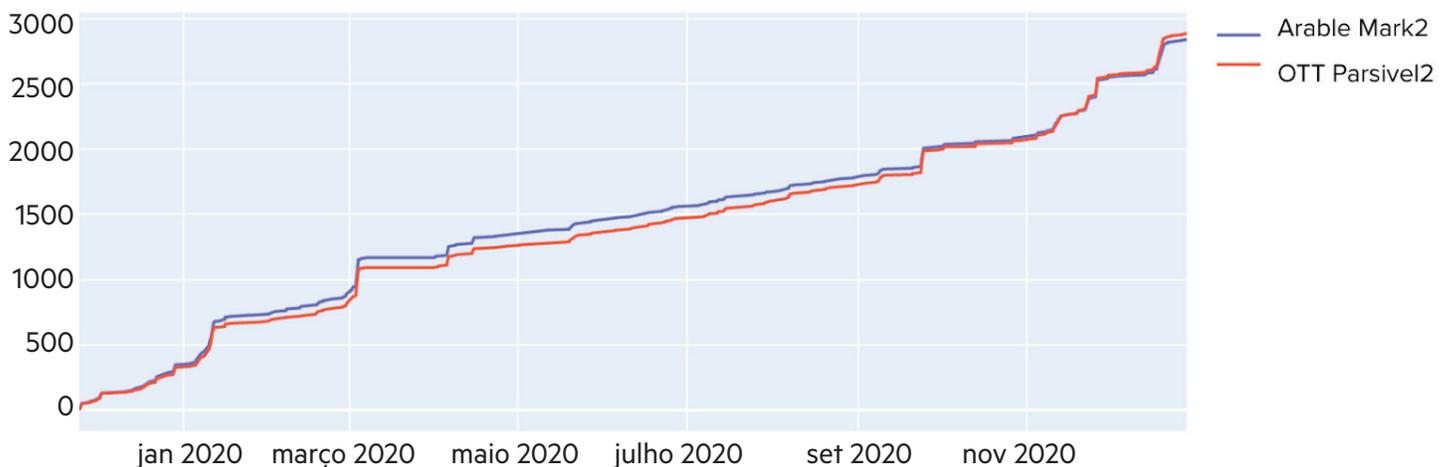


Figura 5. Precipitação acumulada de um Arable Mark 2 e um OTT Parsivel2 adjacentes em um dos nossos locais de campo de Cal/Val.

Esta estratégia de calibração e validação global alcançou excelentes resultados, muitas vezes superando o desempenho de estações meteorológicas comerciais (veja a ficha de produto do Mark 2 para uma lista mais completa das medições e suas taxas de precisão correspondentes). Além disso, esta estratégia gera melhoria contínua dos modelos de ML com o tempo, conforme dados de treinamento complementares são coletados pela rede de Cal/Val. Nossos lançamentos periódicos de software contêm updates automáticos dos modelos de ML que aumentam a precisão de nossas medições e

maximizam o desempenho em todas as nossas ofertas de recursos - sem precisar substituir as unidades por hardware novo. É uma forma genuinamente flexível e sustentável de desenvolver e criar novas tecnologias, o que nos permite oferecer um preço mais acessível. Nossas tecnologias continuarão evoluindo e melhorando ainda mais com o tempo, aproveitando ao máximo a plataforma de ML e os dados dinâmicos da Arable.

Para melhores resultados, recomendamos que ao comparar os dados de precipitação da Arable com os de outros dispositivos, considere-se a

distância entre sensores, as diferenças de exposição ao vento e o tempo desde que o pluviômetro passou por limpeza, nivelamento e calibragem. Mesmo assim, como mostramos, a variabilidade espacial de precipitação em pequenas distâncias e mesmo em configurações adjacentes pode ser importante, e erros comuns de medição de precipitação podem não ser totalmente eliminados. Se você quiser saber mais sobre os principais problemas que podem ocorrer ao tentar comparar duas fontes de chuva diferentes e os erros relacionados, consulte este [documento](#) e este [recurso](#).

References

- Curtis, D., & Burnash, R. (1996). Inadvertent Rain Gauge Inconsistencies and Their Effect on Hydrologic Analysis. Presented at the California-Nevada ALERT Users Group Conference, Ventura, CA, May 15-17, 1996.
- Davis Instruments. (2009). "Reporting Quality Observations to NOAA and other weather observation groups." https://www.davisinstruments.com/product_documents/weather/app_notes/AN_30-reporting-weather-data-to-noaa.pdf
- Emmanuel, I., Andrieu, H., Leblois, E., & Flahaut, B. (2012). Temporal and spatial variability of rainfall at the urban hydrologic scale. *Journal of Hydrology*, 420-431: 162-172.
- E. Vuerich, C. Monesi, L. Lanza, L. Stagi, & E. Lanzinger. (2009). WMO Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges. WMO Library, IOM 99 (TD 1504). <http://www.precipitation-intensity.it/firi.html>
- Jensen, N.E., & Pedersen, L. (2005). Spatial variability of rainfall: Variations within a single radar pixel. *Atmospheric Research*, 77(1-4): 269-277.
- Larson, L., & Peck E. (1974). Accuracy of Precipitation Measurements for Hydrologic Forecasting. *Water Resources Research*, 10(4).
- Mokondoko, P., Manson, R. H., Ricketts, T. H., & Geissert, D. (2018). Spatial analysis of ecosystem service relationships to improve targeting of payments for hydrological services. *PLoS ONE*, 13(2).
- Nemeth, K., & Beck, E. (2011). Here comes the rain: high-precision measurement of hydrometeors. *Meteorology Technology International*, May 2011: 105-107. <https://www.ott.com/download/meteorological-technology-international-article/>
- Pedersen, L., Jensen, N.E., Christensen, L.E., & Madsen, H. (2010). Quantification of the spatial variability of rainfall based on a dense network of rain gauges. *Atmospheric Research* 95(4): 441-454.
- Prodata Associates Ltd. (2020). "Rain gauge faults." <https://www.manula.com/manuals/pws/davis-kb/1/en/topic/rain-gauge-faults>
- United Kingdom Environment Agency. (2004). Evaluation of tipping bucket rain gauge performance and data quality. *Science Report: W6-084/SR*. 63pgs.
- Wolf, L. A., Siegfried, B. J., Smith, A. L. (2018). Disdrometer having acoustic transducer and methods thereof. U.S. Patent No. 10578772B2. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- World Meteorological Organization. (2018). *Guide to Instruments and Methods of Observation: Volume 1 -- Measurement of Meteorological Variables*. WMO-No. 8. 548pgs.





 **ARABLE**