

Arable Mark 2

Principais medições

Uma comparação de precisão

Dezembro 2020

arable.com



SUMÁRIO

Introdução.....	3
Metodologia.....	4
Resultados.....	7
Precipitação.....	8
Temperatura do ar.....	11
Déficit de pressão de vapor/umidade relativa.....	12
Conclusão.....	14
Agradecimentos.....	15

INTRODUÇÃO

A Arable é uma empresa de dados e análises que ajuda seus clientes a tomarem as melhores decisões sobre agricultura por meio de uma abordagem integrada de hardware, software e ciência de dados. No centro da solução da Arable está o Arable Mark 2, uma estação meteorológica completa e monitor de lavoura que coleta dados sobre o clima e a cultura para criar insights práticos em todas as condições de cultivo. O dispositivo possui design resistente para maior durabilidade em campo, conectividade celular global e um conjunto robusto de sensores que mede mais de 40 parâmetros da região onde está instalado. Ele conta com um disdrômetro acústico para medir a precipitação, assim como radiômetros de ondas longas e curtas ascendentes e descendentes, espectrômetros de 6 bandas e GPS.

O design e os componentes de hardware do Mark 2 foram escolhidos tendo em vista a precisão e a durabilidade no campo, mas também com o entendimento de que as principais medições, bem como quaisquer características agronômicas derivadas, seriam aprimoradas pela aplicação de soluções de Machine Learning (ML). O machine learning recai no campo da ciência de dados e, em geral, se refere ao estudo de algoritmos de computação que criam modelos matemáticos com base em dados de amostragem, conhecidos como “dados de treinamento”, com a finalidade de fazer previsões ou tomar decisões [1]. Particularmente, o uso de ML pela Arable foca na calibração das principais medições para melhorar a precisão e utilizar análises preditivas para criar recursos agronômicos relevantes.

Este artigo detalha como nossas soluções de ML melhoram as principais medições e como validamos seu desempenho em campo. Este processo de validação envolve a implementação adjacente de dispositivos Mark 2 e instrumentos padrão ouro de referência para pesquisa, localizados em locais AmeriFlux [2] ou similares na América do Norte, na Europa e na Austrália. Essas implementações adjacentes nos permitem comparar as medições do Mark 2 com a observação direta no local para estabelecer métricas de precisão reais nos campos em diversas zonas climáticas. Também instalamos, de forma adjacente a duas estações meteorológicas comerciais, a Davis Vantage Pro2 [3] e a METER ATMOS 41 [4], para comparar o Mark 2 com dispositivos semelhantes disponíveis no mercado.

Na seção “Metodologia”, descrevemos nosso processo de treinamento dos modelos de ML e de teste de desempenho utilizando instrumentos de referência e dispositivos comerciais. Na seção “Resultados”, mostramos conjuntos de gráficos comparativos e métricas de desempenho para cada uma das principais medições e também fornecemos uma interpretação desses resultados. Na seção “Conclusão”, resumimos os resultados e falamos sobre como o Mark 2 e o sistema da Arable em geral irão melhorar com o tempo, graças a nossas soluções de ML.

METODOLOGIA

Os modelos de ML da Arable exigem dados de treinamento para sua construção, além de dados de teste para validar seu desempenho. Sendo assim, a Arable investiu na coleta de grandes quantidades desses dados de referência: até agora, já foram coletados mais de 70 milhões de pontos de dados em 45 medições de 35 locais diferentes. Esses locais de pesquisa controlados formam, coletivamente, nossa rede de calibração/validação, conhecida como “rede de Cal/Val” da Arable.

Por meio da rede de Cal/Val, a Arable aproveita os conjuntos de dados in situ de alta resolução, de nível de pesquisa, para calibrações e análises do sensor Mark 2. Esse trabalho começou no fim de 2018 com a coleta de dados de temperatura do ar e

precipitação e, em 2019, passou a incluir medições em todo o conjunto de sensores. Atualmente, a rede cobre 11 zonas climáticas Köppen-Geiger [5], conforme mostrado abaixo, na Figura 1. Os locais foram selecionados com base na qualidade dos dados, na propagação geoespacial máxima e na capacidade de operar com a Arable. Esta rede de fluxos de dados de alta qualidade não só permite atualizar a calibração no sistema do Mark 2 periodicamente, mas também projetar hardware de sensor com tempo de desenvolvimento mais curto, testar novos recursos e iniciar novas análises com integração a sensores de terceiros.

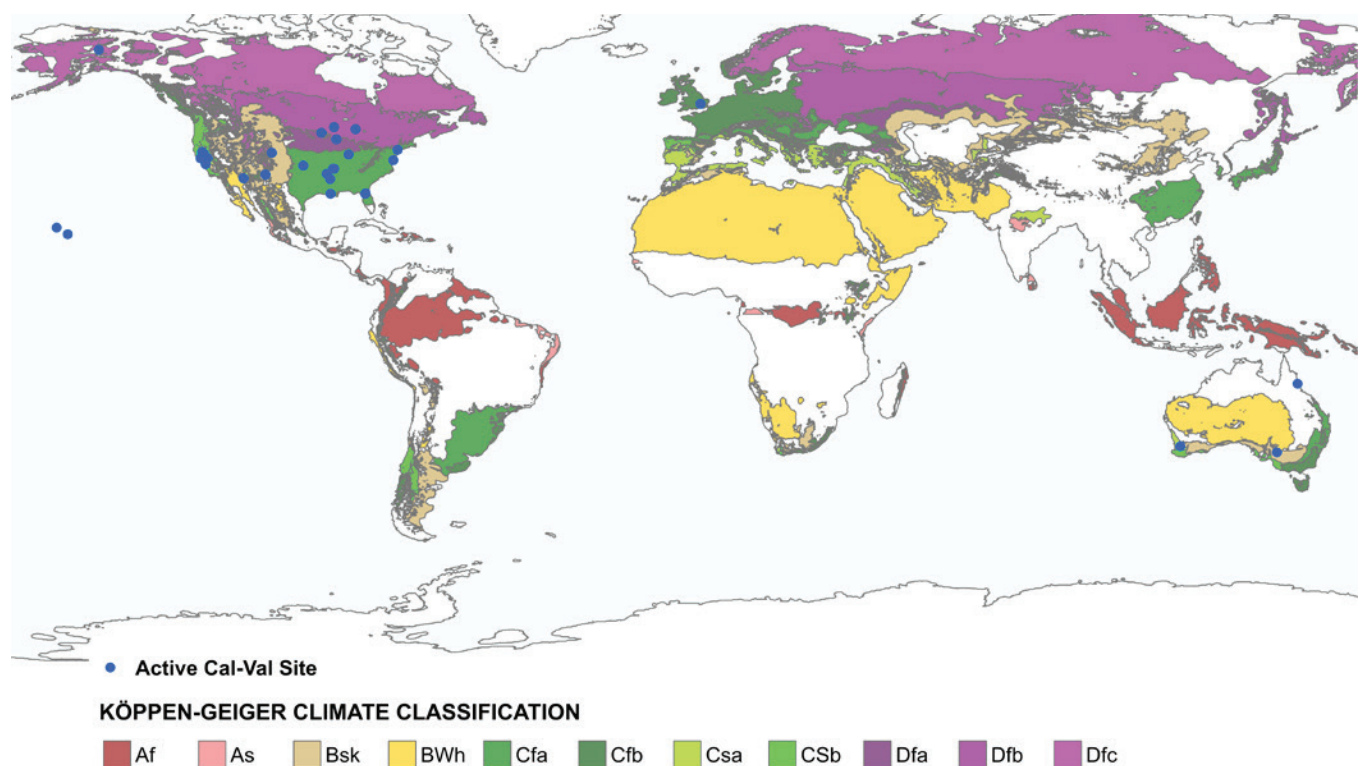


Figura 1. Mapa da rede de Cal/Val da Arable. Os pontos azuis indicam a localização de locais específicos, com zonas climáticas Köppen-Geiger separadas por cor.

A rede Cal/Val está associada a diversas instituições que nos fornecem dados coletados utilizando instrumentos de alta precisão. O Goddard Space Flight Center, da NASA [6], é um centro de pesquisa e desenvolvimento de ciência da precipitação de nível internacional. Ele é um dos quatro locais onde o Mark 2 está implementado de forma adjacente a um disdrômetro a laser, fornecendo acesso aos dados de precipitação do radar e do disdrômetro para calibração da precipitação. O Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL) [7] é outro local de pesquisa de nível internacional conhecido pela espectrorradiometria. Trabalhamos em conjunto com o NREL desde 2017, validando nossas medições de ondas curtas, ondas longas e direção da luz incidente. Grande parte dos nossos parceiros são membros da Rede AmeriFlux [2], que é equipada com sensores padrão ouro para pesquisas climáticas e ecológicas. A Arable também mantém parceria com pesquisadores que gerenciam torres meteorológicas de universidades e outras redes meteorológicas, incluindo a Lyon Arboretum, da University of Hawaii, a Field and Fork, da University of Florida, a Rutgers University e o departamento de Ciências Atmosféricas e Oceânicas da University of Wisconsin. A rede abrange quatro níveis de dados específicos:

- (1) **Precipitação.** Distribuição do tamanho das gotas e velocidade e precipitação total medidos com disdrômetros a laser.
- (2) **Meteorologia.** Informações sobre temperatura, umidade, pressão, precipitação e vento com especificidade científica.

- (3) **Espectrorradiometria.** Radiação de ondas curtas e longas de banda larga, bem como espectrometria ambiental altamente definidas, a partir de sensores de padrão ouro.

- (4) **Medições de covariância de vórtices turbulentos.** Troca de vapor de água (evapotranspiração), dióxido de carbono (fotossíntese e respiração) e radiação (energia de ondas curtas e longas) em todo o ecossistema, junto com os fatores climáticos.

Usamos os dados coletados desses locais de Cal/Val para alinhar as medições do Mark 2 com as medições de referência padrão ouro ao longo do tempo. Com isso, temos fluxos de dados contínuos de várias medições, nos permitindo identificar qualquer discrepância entre os registros brutos do Mark 2 e a observação direta no local. Esses dados são usados para treinar modelos de ML que “aprendem” as medições corrigidas ou calibradas provenientes dos instrumentos de referência padrão ouro. Os modelos de ML são então aplicados aos dados recebidos em tempo real para se obter uma base de medição mais precisa e confiável.

A principal conclusão é que nossas estratégias inovadoras, principalmente no uso de ML, impulsionam o aprimoramento contínuo dos produtos atuais e futuros da Arable. Quanto mais dados coletamos por meio de nossa rede Cal/Val, melhor é a nossa precisão, o que nos permite criar modelos mais inteligentes, que ajudam a tomar decisões agrícolas melhores, baseadas em dados. Simplificando, ficamos cada vez melhores com o tempo. Neste artigo, vimos

o sucesso que esses modelos já alcançaram até o momento, ressaltando que continuarão melhorando e definindo novos padrões para o monitoramento do clima e da safra. Embora este artigo fale principalmente sobre a aplicação do ML à nossa base de medição principal, essas medições formam a base de nossos modelos agronômicos derivados, que são essenciais para a tomada de decisões agronômicas práticas e fundamentadas.

Para garantir o mais alto nível de precisão, não usamos nossa rede de Cal/Val apenas para criar estes modelos; também a usamos para testar exaustivamente e garantir seu desempenho contínuo. Este artigo oferece uma visão geral do processo de validação, com foco na comparação do Mark 2 com outros dispositivos de estação meteorológica comerciais usando os dispositivos de referência como base para o desempenho.

Para os resultados discutidos neste artigo, usamos dados de dois locais de Cal/Val, que são nomeados segundo a localização: Hilo (no Havaí, EUA) e Santa Rosa (na Califórnia, EUA). Nos dois locais, usamos um OTT Parsivel² [8] como a referência padrão ouro para precipitação. Trata-se de um disdrômetro a laser de alta qualidade que conta as gotas de chuva e as classifica segundo seu diâmetro e velocidade, obtendo a quantidade e a taxa precisas de precipitação. No local de Santa Rosa, também usamos uma Vaisala HUMICAP® HMP155 [9] com um MeteoShield (proteção helicoidal contra radiação naturalmente aspirado) [10] como referência para temperatura do ar e umidade relativa, aliados a um radiômetro de rede Kipp & Zonen CNR4 [11] como referência para a radiação solar. Estes são

instrumentos de pesquisa que fornecem dados meteorológicos para estudos para as melhores instalações de pesquisa em todo o mundo.

Além disso, optamos por implementar de forma adjacente com duas estações meteorológicas comerciais, a Davis Vantage Pro2 [3] e a METER ATMOS 41 [4], em cada um desses locais. A Vantage Pro2 é uma estação meteorológica convencional que oferece alguns recursos agronomicamente importantes, como a evapotranspiração. A ATMOS 41 é uma estação meteorológica de preço semelhante, uma das várias opções oferecidas pela METER em sua linha de soluções ambientais. Nos dois locais, os dispositivos são posicionados a uma distância entre 1 e 2 metros um do outro, a uma altura de dois metros acima do nível do solo. Eles são higienizados regularmente e mantidos de acordo com as especificações do fabricante. Na próxima seção, faremos uma análise detalhada do desempenho desses dispositivos em diversos tipos de medições.

RESULTADOS

Esta seção compara o Arable Mark 2 com a Davis Vantage Pro2 e a METER ATMOS 41 em relação às seguintes medições:

Precipitação

Temperatura do ar

Déficit de pressão de vapor/umidade relativa, em substituição à umidade relativa, já que o ATMOS 41 não fornece umidade relativa diretamente.

Utilizamos três métricas para avaliar o desempenho:

MAE: Média dos erros absolutos

RMSE: Raiz do erro quadrático médio

MBE: Erro médio de viés

Todos os resultados foram calculados em uma escala de hora a hora, ressaltando que também calculamos a porcentagem de erro acumulada para a precipitação para demonstrar como os erros se agravam ao longo do tempo.

PRECIPITAÇÃO

Nas figuras 2 e 3, abaixo, mostramos a quantidade de precipitação para o Mark 2, a Davis Vantage Pro2 e a METER ATMOS 41 (eixo y) comparada com a referência padrão ouro OTT Parsivel² (eixo x). Cada ponto corresponde a um valor horário e a linha preta de identidade mostra onde as quantidades de precipitação seriam iguais (nenhum erro ou discrepância da referência padrão ouro). Os pontos acima ou abaixo

dessa linha correspondem a instâncias de superestimação e subestimação da precipitação, respectivamente, ressaltando que quanto mais o ponto se afasta da linha, maior o erro. Em contraste, uma pequena dispersão centralizada sobre a linha representa erros mínimos e uma correspondência próxima com a referência do padrão ouro.

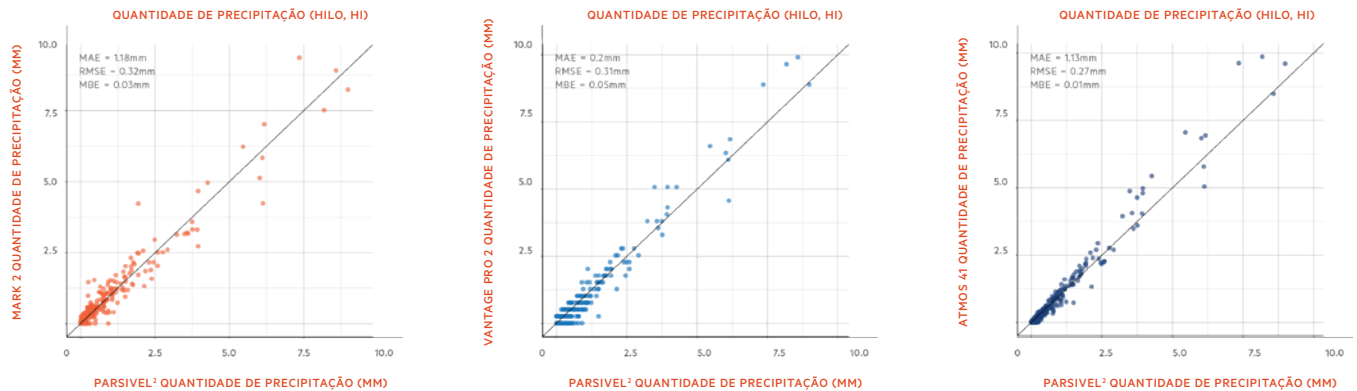


Figura 2. Comparação de precipitação no local Hilo, usando dados de agosto de 2020 a outubro de 2020.

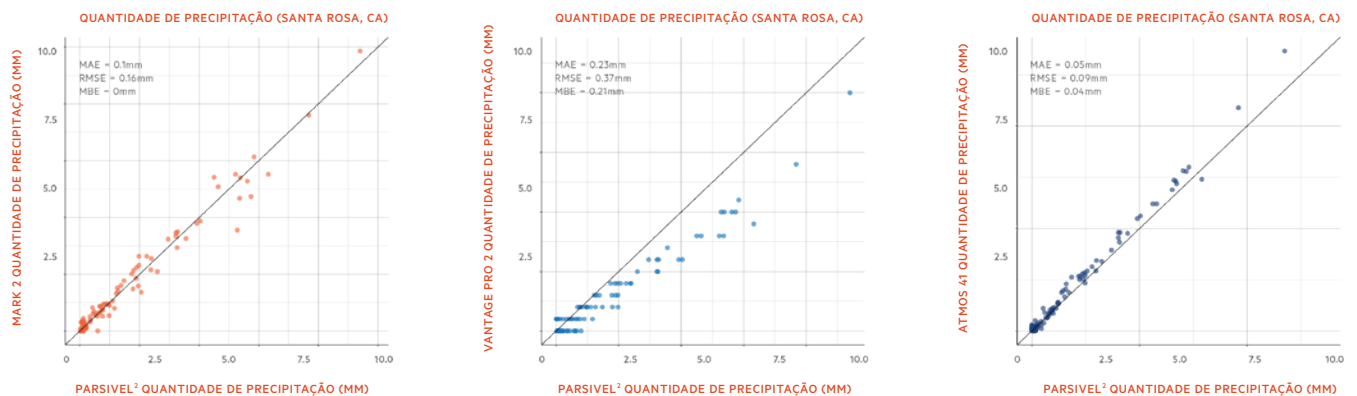


Figura 3. Comparação de precipitação no local Santa Rosa, usando dados de abril de 2020 a junho de 2020.

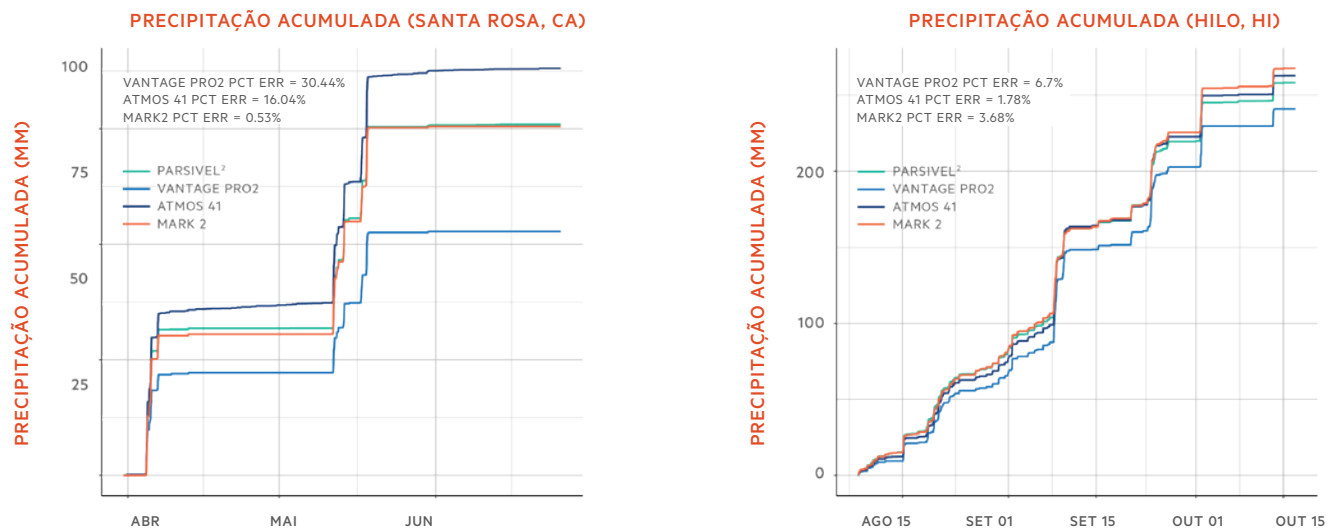


Figura 4. Comparação da precipitação acumulada usando os mesmos dados das figuras 2 e 3.

Como visto na figura 3, a ATMOS 41 tem os erros horários mais baixos em todas as métricas, com exceção do MBE no local Santa Rosa, onde o Mark 2 tem viés com média zero. A Vantage Pro2 subavalia constantemente, o que fica mais evidente no local Santa Rosa, onde os pontos de dados estão claramente fora do centro, produzindo um MBE de -0,21 mm. Nesse contexto, o MBE pode ser considerado a métrica mais importante, pois é interessante entender como os erros se agravam ao longo do tempo. Por esse motivo, também plotamos a precipitação acumulada para os intervalos de tempo estudados, conforme mostrado na figura 4 acima.

Os resultados da figura 4 são compatíveis com os da figura 3, em que os erros percentuais gerais correspondem ao esperado, conforme seus MBEs correspondentes. No local Santa Rosa, os MBEs são classificados do melhor para o pior, da seguinte forma: Mark 2 (0 mm), ATMOS 41 (0,04 mm) e Vantage Pro2 (-0,21 mm). Ao mesmo tempo, os erros

percentuais seguem a mesma classificação: Mark 2 (0,53%), ATMOS 41 (16,04%) e Vantage Pro2 (30,44%). Os resultados de Hilo podem ser detalhados de forma semelhante, com o Mark 2 e a ATMOS 41 levando o primeiro e o segundo lugares. Nos dois locais, a Vantage Pro2 não parece ser tão precisa, devido à sua tendência de subnotificação

Estes são alguns dos problemas comuns que surgem ao se medir a precipitação com instrumentação tradicional. A Vantage Pro2 registra a precipitação usando um pluviômetro basculante convencional, que é um dos métodos mais utilizados atualmente. No entanto, embora seja amplamente utilizado, este método - e os pluviômetros em geral - estão sujeitos a diversas fontes diferentes de erro, gerando números menores que a precipitação que atinge o solo em até 30% ou mais, de acordo com a figura 4. Comparação da precipitação acumulada usando os mesmos dados das Figuras 2 e 3. 9 Organização Meteorológica Mundial (OMM) [12]. A magnitude desses

erros depende totalmente das condições meteorológicas, principalmente da velocidade do vento e da intensidade da precipitação, podendo ter como causa [ibid.]:

Deformação sistemática do campo de vento acima do orifício do pluviômetro (2-10%)

Perda de umidade nas paredes internas do coletor, bem como a perda de umidade no recipiente, quando esvaziado (2-15% no verão e 1-8% no inverno)

Evaporação do recipiente (0-4%)

Respingos de água para dentro e para fora (1%-2%)

Erros de amostragem e erros mecânicos sistemáticos

Erros de efeitos dinâmicos (5-15%)

Erros instrumentais e observacionais aleatórios

A solução da Arable para medir a precipitação é uma abordagem totalmente nova, que evita algumas das fontes de erro mais comuns descritas acima. O Mark 2 usa um disdrômetro acústico patenteado que captura o som da chuva [13]. O processo de cálculo da quantidade de precipitação pode ser dividido em duas etapas principais:

1. Os dados de áudio são coletados e analisados para determinar se a fonte do som é a chuva ou outra coisa.
2. Se for a chuva, os dados de áudio são convertidos de forma que as gotas sejam identificadas

individualmente, agrupadas de acordo com um esquema de faixa de energia e, então, mapeadas para o compartimento de diâmetro correspondente. A partir da distribuição das gotas por diâmetro nos compartimentos, podemos calcular a quantidade total de precipitação.

As duas etapas desse processo são aprimoradas por meio do uso de algoritmos de classificação e regressão de ML, que permitem chegar de forma mais precisa e consistente à quantidade correta de precipitação. Embora o sucesso desses modelos seja notório, muitas vezes superando outras estações meteorológicas comerciais, eles continuarão evoluindo e melhorando com o tempo, aproveitando a plataforma de ML e os dados dinâmicos da Arable.

TEMPERATURA DO AR

A figura 5 mostra a temperatura do ar para o Arable Mark 2, a Davis Vantage Pro2 e a METER ATMOS 41 (eixo y) em

relação à Vaisala HUMICAP® HMP155 com proteção helicoidal contra radiação (eixo x), usada como referência.

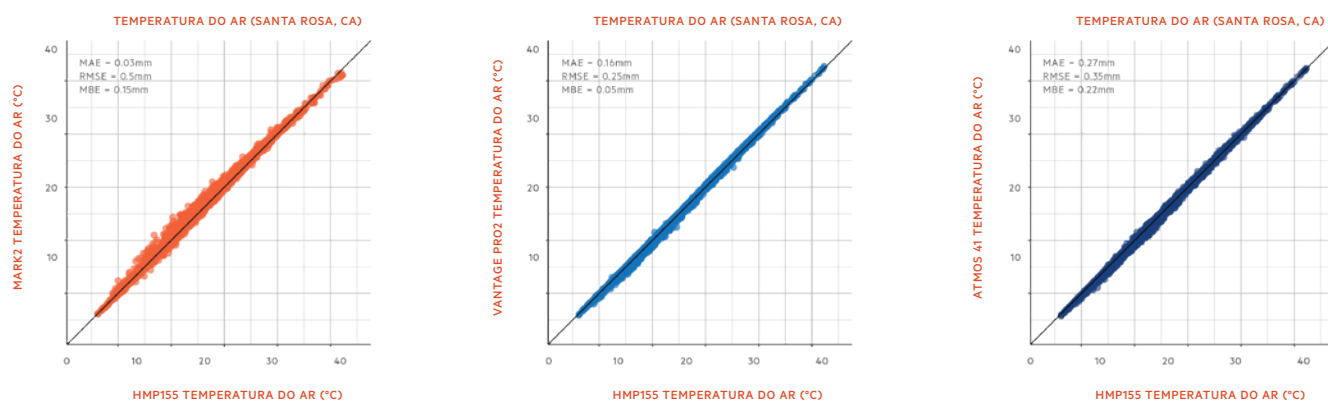


Figura 5. Comparação da temperatura do ar no local Santa Rosa usando dados de outubro de 2019 a outubro de 2020.

Como visto na figura 5, os três dispositivos têm um desempenho muito semelhante nas três métricas, com a MAE variando de 0,160 C (Vantage Pro2) a 0,30 C (Mark 2). Particularmente, a diferença de 0,030 C entre o Mark 2 e a ATMOS 41 não tem qualquer significância física. Além disso, com todas as MAEs iguais ou abaixo de 0,30 C, todos os dispositivos exibem temperaturas suficientemente precisas, em que os erros provavelmente não terão

qualquer impacto negativo nas aplicações agrônômicas. Também é importante ressaltar que em faixas de temperatura específicas, esses resultados podem mudar um pouco. Por exemplo, em temperaturas próximas do congelamento, a MAE do Mark 2 é de apenas 0,140 C, enquanto a MAE da Vantage Pro2 e da ATMOS 41 são de 0,170 C e 0,320 C, respectivamente.

DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR / UMIDADE RELATIVA

A figura 6 mostra a umidade relativa para o Arable Mark 2 e a Davis Vantage Pro2 (eixo y) em relação com a Vaisala HUMICAP® HMP155 com proteção helicoidal contra radiação (eixo x), usada como referência. Como podemos observar na figura, o Mark 2 claramente supera

a Vantage Pro2 com erros reduzidos até 9 vezes melhores. Devemos ressaltar que o valor de umidade relativa máxima observado pelo Vantage Pro2 é de apenas 91%, embora estes dados cubram um ano inteiro e certamente contenham algumas horas de chuva.

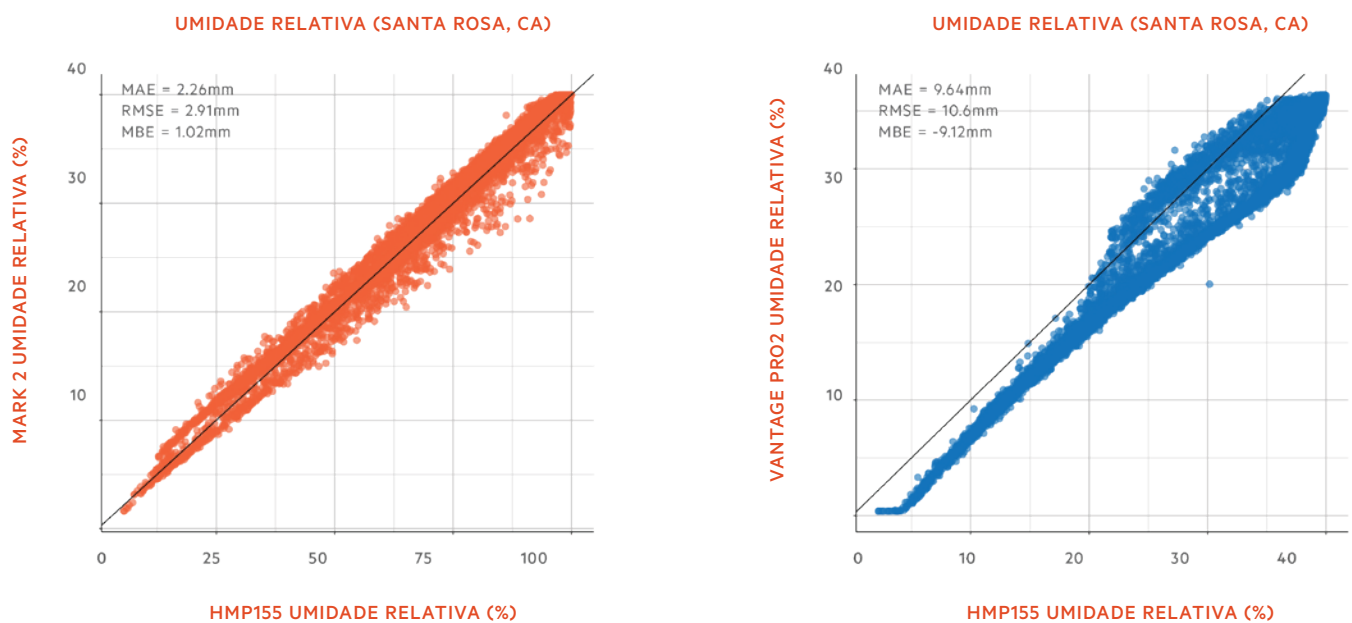


Figura 6. Comparação de umidade relativa no local Santa Rosa usando dados de outubro de 2019 a outubro de 2020.

A figura 7 mostra o déficit de pressão de vapor para o Mark 2 e a ATMOS 41 (eixo y) em relação com a Vaisala HUMICAP® HMP155 com proteção helicoidal contra radiação (eixo x), usada como referência. A ATMOS 41 não fornece a umidade relativa diretamente, mas sim o déficit de pressão de vapor - uma função de temperatura do ar e umidade relativa. Portanto, esta

comparação testa indiretamente a precisão da umidade relativa, embora seja evidente que os erros de temperatura do ar também estejam presentes. Como evidenciado na figura, o Mark 2 supera por uma margem pequena a ATMOS 41 com desvio máximo de MBE de -0,01 kPa (Mark 2) contra -0,06 kPa (ATMOS 41).

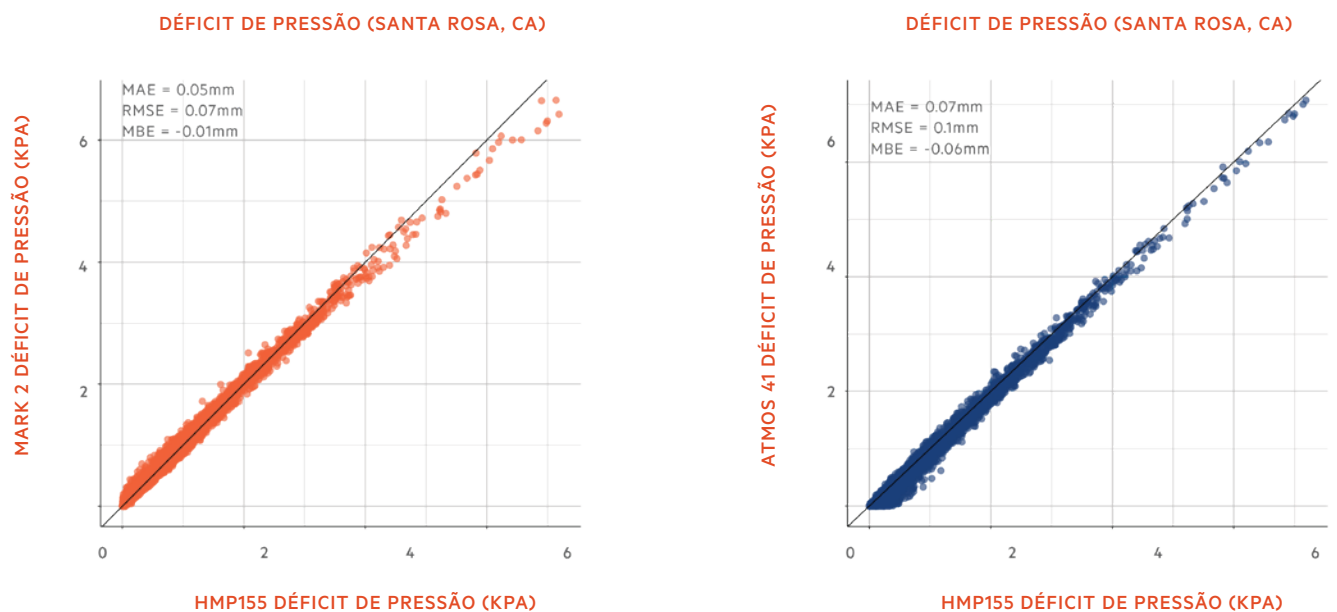


Figura 7. Comparação do déficit de pressão de vapor no local Santa Rosa, usando dados de outubro de 2019 a outubro de 2020.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados neste artigo, fica claro que o Arable Mark 2 é uma alternativa competitiva em relação às estações meteorológicas tradicionais disponíveis no mercado, em termos de precisão de dados. O Mark 2 apresentou bons resultados comparativos e, em alguns pontos, superou a Davis Vantage Pro2 e a METER ATMOS 41 nos quesitos temperatura do ar, precipitação e déficit de pressão de vapor/umidade relativa, tendo como referência dispositivos padrão ouro. Particularmente, o Mark 2 foi o mais preciso dos três dentro da faixa de congelamento da temperatura do ar, em todas as medições de déficit de pressão de vapor/umidade relativa e em um dos dois locais de precipitação analisados. Neste local, a ATMOS 41 e a Vantage Pro2 ficaram atrás do Mark 2 com erros percentuais aproximadamente 32x e 60x piores, respectivamente. Atribuímos esse sucesso à nossa nova abordagem de medição de precipitação, que evita algumas das fontes comuns de erro às quais os métodos tradicionais estão sujeitos.

Como líder em tecnologia de monitoramento de clima e safra e análise de dados, a Arable está comprometida em fornecer ferramentas poderosas, porém acessíveis, para stakeholders de todo o setor agrícola. Nossos ciclos de desenvolvimento não se limitam a hardwares novos e mais caros; nosso foco está no lançamento constante de softwares com atualizações

automatizadas dos modelos de ML, que maximizam o desempenho em todas as nossas ofertas. Não é apenas uma forma mais flexível e sustentável de desenvolver e criar novas tecnologias, é também menos dispendiosa, o que nos permite produzir produtos mais acessíveis.

A principal conclusão é que nossas estratégias inovadoras, principalmente no uso de ML, impulsionam o aprimoramento contínuo dos produtos atuais e futuros da Arable. Quanto mais dados coletamos por meio de nossa rede Cal/Val, melhor é a nossa precisão, o que nos permite criar modelos mais inteligentes, que ajudam a tomar decisões agrícolas melhores, calcadas em dados. Simplificando, ficamos cada vez melhores com o tempo. Neste artigo, vimos o sucesso que esses modelos já alcançaram até o momento, ressaltando que continuarão melhorando e definindo novos padrões para o monitoramento do clima e da safra. Embora este artigo fale principalmente sobre a aplicação do ML à nossa base de medição principal, essas medições formam a base de nossos modelos agrônômicos derivados, que são essenciais para a tomada de decisões agrônômicas práticas e fundamentadas.

AGRADECIMENTOS

A Arable gostaria de agradecer a Rob Hamnet e Susan Cordell do Serviço Florestal dos EUA, por nos ajudarem a implementar e manter a instrumentação em Hilo, HI. Este local tem sido de valor inestimável para nossa coleta de dados pluviométricos desde 2018. A Arable também gostaria de agradecer a todos os nossos parceiros, pesquisadores e colaboradores que contribuem para a rede de Cal/Val. É possível que não tenhamos usado diretamente os dados de todos os locais nesta análise, mas seu apoio foi fundamental para o trabalho de pesquisa e desenvolvimento, e para o sucesso contínuo da Arable.

REFERENCES

- [1] Wikipedia contributors. (2020, November 19). Machine learning. Retrieved November 19, 2020, from Wikipedia, The Free Encyclopedia website: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Machine_learning&oldid=989487893
- [2] AmeriFlux: Measuring carbon, water and energy flux across the Americas. (n.d.) <https://ameriflux.lbl.gov/>
- [3] Vantage Pro2. (2019, October 23). <https://www.davisinstruments.com/vantage-pro2/>
- [4] Weather station for research. (2016, October 25). <https://www.metergroup.com/environment/products/atmos-41-weather-station/>
- [5] Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263.
- [6] Garner, R. (2015). NASA's Goddard Space Flight Center. <https://www.nasa.gov/goddard>
- [7] National Renewable Energy Laboratory (NREL) home page. (n.d.). <https://www.nrel.gov/>
- [8] OTT Parsivel² Laser Present Weather Sensor. (n.d.). <https://www.otthydromet.com/en/p-ott-parsivel-laser-present-weather-sensor/70.210.002.3.0>
- [9] HUMICAP[®] Humidity and Temperature Probe HMP155. (n.d.). <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/weather-stations-and-sensors/hmp155>
- [10] RADIATION SHIELDS — BARANI DESIGN Technologies. (n.d.). <https://www.baranidesign.com/radiation-shields>
- [11] CNR4 Net Radiometer. (n.d.). <https://www.kippzonen.com/Product/85/CNR4-Net-Radiometer>
- [12] World Meteorological Organization (WMO). (2018). Guide to Instruments and Methods of Observation: Volume I – Measurement of Meteorological Variables, pp. 221–223. Retrieved from https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10179
- [13] 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.

