

Análise da Produtividade da Água: Temporada de Irrigação 2022

Projeto APSAN-Vale



RELATÓRIO

239

CLIENTE

**Agência de Desenvolvimento do
Vale Zambeze (ADVZ)**

AUTORES

**Lisa Verschuren
Tijmen Schults
Martijn de Klerk**

DATA

Dezembro de 2022

Análise da Produtividade da Água: Temporada de Irrigação 2022

Projeto APSAN-Vale

Relatório FutureWater 239

Cliente

Agência de Desenvolvimento do Vale Zambeze (ADVZ)

Autores

Lisa Verschuren - Hidrologista (l.verschuren@futurewater.nl)

Tijmen Schults - Hidrologista (t.schults@futurewater.nl)

Martijn de Klerk - Especialista em Sensores Voadores, Gestor de Projetos (m.deklerk@futurewater.nl)

Parceiros de projeto APSAN-Vale

Resiliência B.V.

HUB

TerceiroEye Limitada

Data

Dezembro de 2022

FutureWater

ENDEREÇO

FutureWater B.V.
Costerweg 1V
6702 AA Wageningen
Países Baixos

TELEFONE

+31 317 460 050

SITE

www.futurewater.eu

Prefácio

O projeto APSAN-Vale visa aumentar a produtividade agrícola resiliente do clima e a segurança alimentar, com o objetivo específico de aumentar a produtividade da água e a rentabilidade dos pequenos agricultores em Moçambique. O projeto dá prioridade aos pequenos agricultores (sector familiar) para aumentarem a segurança alimentar e nutricional e demonstrarão as melhores combinações de estratégias de adoção e pacotes tecnológicos. O impacto das estratégias adotadas ou dos pacotes tecnológicos é avaliado ao nível das parcelas agrícolas, da sub-bacia, bem como do nível das bacias. O papel principal do FutureWater é monitorizar a produtividade da água nas áreas-alvo (variação espacial e sazonal/anual) utilizando dados de deteção remota de Sensores Voadores (drones), imagens de satélite e portal de dados WaPOR em combinação com um modelo de simulação de produtividade da água e observações de campo.

Este relatório mostra a análise da produtividade da água para a época de rega de 2022 (abril a setembro) em três locais diferentes em Moçambique. Esta análise é crucial para avaliar o impacto das intervenções de campo na produtividade da água. Como esta é a última temporada do projeto, é também adicionada uma avaliação n do progresso da produtividade da água para todas as estações de rega neste projeto.

Resumo

Os agricultores procuram boas práticas que possam atingir rendimentos agrícolas mais elevados, assim os lucros e a segurança alimentar. Com recursos limitados como a água, o aumento da produção deve ser considerado por unidade de água consumida, o que é expresso no termo "Produtividade da Água". A produtividade da água pode ser usada como um indicador de desempenho para monitorizar as mudanças numa área agrícola (no terreno, na exploração ou no nível do sistema de irrigação). Se as intervenções forem implementadas, a produtividade da água pode indicar se a intervenção teve um impacto positivo ou negativo na utilização da água ou se se manteve inalterada. Este relatório apresenta uma avaliação da produtividade da água durante a época de rega de 2022 (abril a setembro) para as áreas do projeto APSAN-Vale. Os resultados da produtividade da água, tal como apresentados neste relatório, fornecem uma visão do impacto das atividades do projeto tanto no campo, como na sub-bacia (comunidade) e na escala das bacias.

Vários métodos foram usados para fornecer uma avaliação fiável da produtividade da água, tais como a utilização dos dados disponíveis no campo, imagens de sensores voadores e conjuntos de dados de deteção remota de acesso aberto da WaPOR e Sentinel 2. Os dados de deteção remota por satélite foram utilizados suplementarmente para visualizar imagens de sensores voadores para capturar com mais frequência o desenvolvimento das culturas e preencher as lacunas entre os intervalos mensais dos intervalos de imagem dos sensores voadores. Os dados suplementares fornecidos pelas imagens Sentinel 2 são úteis para uma melhor determinação da curva de cultura.

À escala de campo, a produtividade específica da água é calculada usando sensores voadores (drones) e imagens de satélite, e simulações de modelos AquaCrop. Os sensores voadores utilizados estão equipados com uma câmara de infravermelhos quase infravermelha para deteção do estado da vegetação. Estas imagens são processadas e traduzidas para valores de cobertura de capota. Em última análise, as imagens dos sensores voadores foram combinadas com as imagens sentinela 2, para determinar a cobertura máxima da capota. No AquaCrop, os dados de campo e a cobertura máxima da copa dos sensores voadores e do Sentinel 2 são utilizados para simular as práticas agrícolas de cada campo, para determinar o rendimento e a produtividade da água. À escala de sub-bacia e bacia, a produtividade da água de biomassa é calculada com base em dados do portal de dados de produtividade da água da FAO, WaPOR (<http://wapor.apps.fao.org>).

Durante a época de irrigação de 2022 foram realizados um total de 143 voos de sensores voadores, num total de 930 ha. No final, para a análise da produtividade da água, foram utilizados dados de 23 agricultores: 9 em Bárue, 7 em Moatize e 7 em Nhamatanda. Os resultados das imagens do sensor voador adquiridas ao longo da temporada são apresentados em mapas de campo impressos e partilhados através do nosso portal online. No ano passado, foram feitos esforços substanciais para divulgar os mapas feitos pelos AgPilots (ou operadores de sensores voadores) da ThirdEye para um público maior online, através do portal APSAN-Vale Flying Sensor. O portal pode ser acedido através de <https://futurewater.eu/apsanvaleportal/>.

A produtividade da água em escala de campo foi calculada para a época de irrigação principais culturas couve, tomate e cebola, e em comparação com os valores de base. Além disso, a produtividade da água foi calculada para o feijão e o milho, mas estes não foram comparados com os valores de base, uma vez que não estão disponíveis. Para a época de rega foram encontradas melhorias na produtividade da água de +55%, +29%, e +63% para Bárue, Moatize e Nhamatanda, respectivamente, resultando numa melhoria média de +49%. Esta média global atinge a meta definida para 2022 de +25% tal como indicado no diário de bordo do projeto, no entanto, é apenas 1% superior à época anterior de regadio (2021) em resultado de uma metodologia melhorada e de um julgamento mais rigoroso nas decisões de modelização.

Além disso, a produtividade da água foi calculada à escala das sub-bacias, que é representativa para a comunidade de agricultores que adotam práticas que estão a ser demonstradas e promovidas pelos PPCs selecionados (Pequenos Produtores Comercial, pequenos agricultores comerciais). Uma área de 300 ha em torno de cada PPC selecionado é determinada como representativa para a área da sub-bacia (ou comunidade). À escala de sub-bacia, a análise da produtividade da água faz uso do portal de dados WaPOR e calcula a produtividade da água de biomassa. Os valores mais elevados de produtividade da água foram encontrados em Bárue; aqui os valores mais elevados são observados em Bárue III de 3,11 kg/m³. Verificou-se que a produtividade da água a biomassa variava entre 2,84 e 3,11 kg/m³ em Bárue, 2,16 a 2,95 kg/m³ em Moatize, e 2,15 a 2,23 kg/m³ em Nhamatanda. A variação relativa da produtividade da água em relação aos valores de base é de +11%, +4% e +17% para Bárue, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. O aumento global da produtividade da água estimado no nível da sub-bacia (comunidade) é de +11%.

À escala da bacia, a delimitação de bacias de cada distrito foi utilizada como limite da bacia. A produtividade da água foi determinada utilizando o portal de dados WaPOR que fornece valores sobre a produtividade da água a biomassa. Estes valores são comparados com a avaliação de base e determinados que foi alcançado um aumento da produtividade da água de +27%, +44%, e +31% para Bárue, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. O aumento médio da produtividade da água em biomassa foi de +34% para todos os distritos juntos.

Por último, nota-se que o aumento da produtividade da água em escala de campo foi semelhante ao da época de rega do ano passado (49% vs 48%), enquanto na sub-bacia (11% vs 33%) e na escala da bacia (34% vs 62%) o aumento da produtividade da água foi menor em comparação com o ano passado. Dado que os agricultores da APSAN-Vale apresentaram um aumento da produtividade da água à escala de campo semelhante, mas os resultados, incluindo os agricultores não-APSAN-Vale (ou seja, na escala das sub-bacias e bacias) foram inferiores ao ano passado, o que pode indicar que os agricultores da APSAN-Vale são mais resistentes aos desafios climáticos que influenciam as suas colheitas do que os agricultores não-APSAN-Vale.

Conteúdo

Resumo	4
Lista de Tabelas	7
Lista de Figuras	8
1 Introdução	9
1.1 Descrição do projeto APSAN-Vale	9
1.2 Relevância da análise da produtividade da água	9
1.3 Indicadores de logframe	9
1.4 Visão geral da temporada	10
1.5 Localizações do projeto	10
1.6 Guia de leitura	13
2 Metodologia	14
2.1 Abordagem	14
2.2 Passo 1: Aquisição de imagens de sensores voadores	16
2.3 Passo 2: Dados enriquecentes com imagens Sentinelá 2	18
2.4 Passo 3: Processamento para mapas de cobertura de capota	18
2.5 Passo 4: Modelação do crescimento das culturas	19
2.6 Passo 5: Calibrar o desenvolvimento das culturas para obter a produtividade da água	22
2.7 Passo 6: Cálculo da produtividade das águas sub-bacia e das bacias	22
2.8 Passo 7: Normalização para as condições meteorológicas anuais	23
2.9 Passo 8: Avaliação sazonal da produtividade da água	24
3 Condições meteorológicas sazonais	25
3.1 Evapotranspiração de referência	25
3.2 Precipitação	26
4 Resultados da produtividade da água à escala de campo	28
4.1 Bárue	28
4.2 Moatize	30
4.3 Nhamatanda	32
5 Resultados da produtividade da água à escala sub-bacia	35
6 Resultados da produtividade da água à escala da bacia	37
7 Avaliação sazonal da produtividade da água	39
7.1 Escala de campo	39
7.2 Escala sub-bacia	41
7.3 Escala de bacia	42
8 Observações finais	44
Anexo 1 - Visão geral dos dados de entrada	46
Anexo 2 - Curvas da cobertura do dossel	49

Lista de Tabelas

Tabela 1. Indicadores de logframe relacionados com a produtividade da água	10
Tabela 2. Panorâmica do número de voos realizados e dos agricultores monitorizados durante a época de rega de 2022.....	10
Tabela 3. Panorâmica dos voos e da área durante a época de rega de 2022	17
Tabela 4. Parâmetros de cultura calibrados utilizados no AquaCrop	21
Tabela 5. Textura do solo em cada site	22
Tabela 6. Evapotranspiração total de referência sazonal para Bárue, Moatize e Nhamatanda durante a temporada de 2022 i rrigation e média da temporada de irrigação de longo prazo (2001-2018).	26
Tabela 7. Precipitação sazonal para Bárue, Moatize e Nhamatanda durante a época de rega de 2022 e média da temporada de irrigação de longo prazo (2001-2018)	27
Tabela 8. Resultados da produtividade da água aquaCrop, coberturas máximas de copa (CC), rendimento das culturas secas e variação por cento da produtividade da água em comparação com a linha de base (75º percentil) para os agricultores de Bárue	29
Tabela 9. Resultados da produtividade da água aquaCrop, cobertura supértil máxima (CC), rendimento das culturas secas e variação por cento da produtividade da água em comparação com a linha de base (percentil 75) para os agricultores de Moatize.....	31
Tabela 10. Resultados da produtividade da água aquaCrop, coberturas máximas de copa (CC), rendimento das culturas secas e variação por cento da produtividade da água em comparação com a linha de base (percentil 75) para os agricultores de Nhamatanda.....	33
Tabela 11. Resultados da produtividade da água da análise das sub-bacias utilizando o portal de dados WaPOR.....	35
Tabela 12. Panorâmica das estatísticas da evapotranspiração real, produção de biomassa e produtividade da água para as bacias de Bárue, Moatize e Nhamatanda.....	37
Tabela 13. Produtividade normalizada da água da cebola (em kg/m ³) para a época de irrigação de 2022 em comparação com os valores de base	39
Tabela 14. Produtividade normalizada da água da couve (em kg/m ³) para a época de irrigação de 2022 em comparação com os valores de base	39
Tabela 15. Produtividade normalizada da água do tomate (em kg/m ³) para a época de rega de 2022 em comparação com os valores de base	40
Tabela 16. Avariação o verall na produtividade da água à escala de campo para a época de irrigação de 2022 em comparação com a linha de base para a cebola, couve e tomate ponderado pelo número de parcelas indicadas entre os parênteses	40
Tabela 17. Produtividade da água a biomassa (kg/m ³) para a época de irrigação de 2022 na escala de sub-bacia em comparação com a linha de base de 2015-2020, tal como deriva do portal de dados WaPOR.	41
Tabela 18. Produtividade da água de biomassa (kg/m ³) para a época de irrigação de 2022 à escala da bacia em comparação com a linha de base	42
Tabela 19. Dados de entrada de campo para Bárue	46
Tabela 20. Dados de entrada de campo para Moatize	47
Tabela 21. Dados de campo de entrada para Nhamatanda	48

Lista de Figuras

Figura 1. Distritos de localização de atividades do projeto APSAN-Vale.....	9
Figura 2. Localização dos PPCs selecionados monitorizados com voos de sensores voadores durante a época de irrigação de 2022	11
Figura 3. Localização e limites das zonas sub-bacias em Báruè	11
Figura 4. Localização e limites das áreas sub-bacias em Moatize	12
Figura 5. Localização e limites das zonas sub-bacias em Nhamatanda.....	12
Figura 6. Delimitação de bacias e dinamizações para Báruè, Moatize e Nhamatanda	13
Figura 7. Fluxo de trabalho para o cálculo da análise da produtividade da água específica para as culturas.....	15
Figura 8. Fluxo de trabalho para análise da produtividade da água de biomassa	15
Figura 9. Flowchart representando a metodologia do projeto.....	16
Figura 10. O nosso sensor voador em ação.....	16
Figura 11. Ilustração explicando a resposta do comprimento de onda quase infravermelho (NIR) ao estado da vegetação	17
Figura 12. Dados de campo e simulações de saída do modelo AquaCrop	20
Figura 13. Características do solo em Moatize como usado no AquaCrop	22
Figura 14. Evapotranspiração média móvel de cinco dias para Moatize e Nhamatanda durante a temporada de irrigação de 2022 das estações TAHMO.	25
Figura 15. Comparação de 2022 de referência mensal evapotranspiração com média de longo prazo (2009-2018) utilizada na análise de base.	26
Figura 16. Precipitação diária para a época de rega de 2022 do TAHMO	27
Figura 17. Comparação da precipitação média mensal durante a época de rega de 2022 com a média de longo prazo (2001-2018) derivada do conjunto de dados CHIRPS.	27
Figura 18. Curva de dossel equipada para PPC Arselio com uma cobertura máxima de vela de aproximadamente 44%.....	28
Figura 19. Mapas de produtividade da água de campo dos agricultores em Báruè para a época de rega de 2022	30
Figura 20. Curva de vela equipada para PPC Girio com uma cobertura máxima de vela de aproximadamente 51%.....	31
Figura 21. Mapas de produtividade da água de campo dos agricultores em Moatize para a época de rega de 2022	32
Figura 22. Curva de dossel equipada para A Flora PPC com uma cobertura máxima de vela de aproximadamente 80%.....	33
Figura 23. Mapas de produtividade da água de campo dos agricultores em Nhamatanda para a época de rega de 2022.....	34
Figura 24. Produtividade da água a biomassa (kg/m ³) para sub-bacias em Báruè para a época de irrigação de 2022.....	36
Figura 25. Produtividade da água a biomassa (kg/m ³) para sub-bacias em Moatize para a época de rega de 2022	36
Figura 26. Produtividade da água a biomassa (kg/m ³) para sub-bacias em Moatize para a época de rega de 2022	36
Figura 27. Produtividade sazonal da água de biomassa (kg/m ³) à escala de bacia para pixéis de cultivo em Báruè, Moatize e Nhamatanda para a época de irrigação de 2022.....	38
Figura 28. Resumo dos resultados da produtividade da água para as épocas de rega e irrigação de 2020, 2021, 2022 e a avaliação de base.	40
Figura 29. Visão geral dos resultados da produtividade da água para a escala da sub-bacia	42
Figura 30. Visão geral dos resultados da produtividade da água para a escala da bacia	43

1 Introdução

1.1 Descrição do projeto APSAN-Vale

O projeto APSAN-Vale iniciou-se no final de 2018 e é um projeto de 4,5 anos com o objetivo de: "Inovações piloto para aumentar water productividade (WP) e Segurança Alimentar para a Agricultura Resiliente Climática no vale do Zambeze de Moçambique". A produtividade da água é utilizada como um indicador para quantificar o impacto das inovações na agricultura de pequenos agricultores. Estas inovações podem ser pacotes técnicos (intervenções e formação) e a adoção de lições aprendidas através da comunicação entre agricultores e agricultores. A informação sobre a produtividade da água tem de incorporar aspetos temporais e espaciais. As mudanças temporais na produtividade da água indicam se uma intervenção aumentou a produtividade da água. Os padrões espaciais na produtividade da água indicam se o conhecimento está a ser adotado na região e aumentou a produtividade global da água da localidade, e do distrito. As atividades do projeto decorrem em três distritos, nomeadamente: Bárue, Moatize e Nhamatanda. Dentro de cada distrito, várias localidades são selecionadas para pilotar inovações. A localização dos distritos e as atividades atuais do projeto são mostradas na Figura 1.

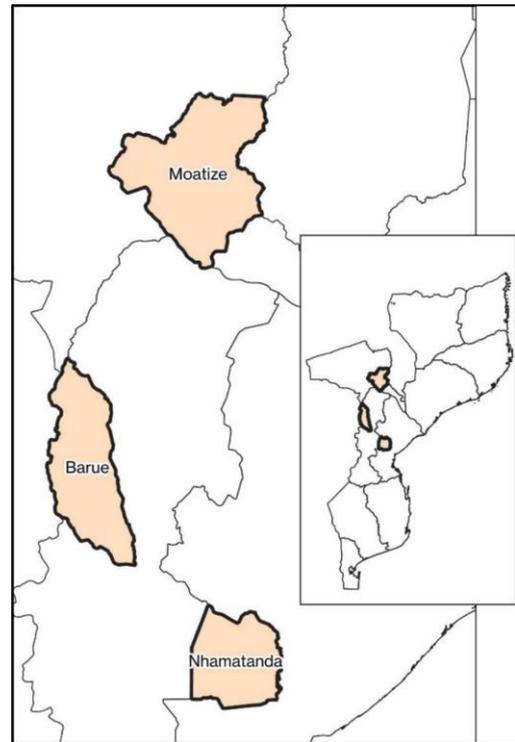


Figura 1. Distritos de localização de atividades do projeto APSAN-Vale

1.2 Relevância da análise da produtividade da água

Para satisfazer as necessidades futuras da produção de alimentos e fibras, os países em desenvolvimento e os países desenvolvidos precisam de se concentrar mais na utilização eficiente e sustentável da terra e da água (Bastiaanssen e Steduto, 2017)¹. Os agricultores conseguiram obter lucro através do aumento da produção agrícola por unidade de terra. No entanto, é fundamental incluir a componente de consumo de água na produção agrícola. Isto permitiria melhorar a produção agrícola por unidade de água consumida.

A produtividade da água pode ser usada como um indicador de desempenho para monitorizar as mudanças numa área agrícola (no terreno, na exploração ou no nível do sistema de irrigação). Se as intervenções forem implementadas, a produtividade da água pode indicar se a intervenção teve um impacto positivo ou negativo na utilização da água ou se permaneceu inalterada. Além disso, a informação espacial sobre a produtividade da água pode indicar áreas com maior desempenho (primeiros adotantes) e se as práticas são assumidas por outros agricultores.

1.3 Indicadores de logframe

No âmbito do projeto APSAN-Vale, foram formulados vários indicadores de logframe. Os indicadores ligados à avaliação da produtividade da água constam do Tabela 1. Alguns indicadores exigem o cálculo

¹ Bastiaanssen, W.G.M. e Steduto, P.: A pontuação da produtividade da água (WPS) a nível global e regional: Metodologia e primeiro resulta de medições de deteção remota de trigo, arroz e milho, Sci. Total Environ., 575, 595-611, doi:10.1016/j.scitotenv.2016.09.032, 2017.

da produtividade específica da água (1.2 e 1.3), enquanto outros indicadores utilizam a produtividade da água de biomassa (1.4). A produtividade da água é calculada nas escalas de campo, sub-bacia e bacia, fornecendo assim os mapas necessários em diferentes escalas espaciais. As metas anuais para os resultados da produtividade da água são percentagens de aumento em comparação com a avaliação de base (Van Opstal e Kaune, 2020)² e são indicadas no Tabela 1 como valores cumulativos, enquanto os mapas de produção são o total anual para cada ano.

Tabela 1. Indicadores de logframe relacionados com a produtividade da água

	#	Indicador	Linha de base	Alvo			
				2019	2020	2021	2022
Objetivo	0.3	Aumento da produtividade water	0%	7.5%	15%	25%	25%
Resultado	1.2	Pegada hídrica para culturas selecionadas	0%	7.5%	15%	25%	25%
	1.3	Produtividade da água para o milho	0%	7.5%	15%	25%	25%
	1.4	Produtividade da água de biomassa	0%	7.5%	15%	25%	25%
Saídas	1.1.1	# de mapas de nível de campo	0	30	60	60	60
	1.1.2	# de mapas de nível sub-bacia	0	10	20	20	20
	1.1.3	# de mapas de nível de bacia	0	6	12	12	12

1.4 Visão geral da temporada

A época de cultivo do irigation começou em abril de 2022, com a plantação de várias culturas de campo. As culturas plantadas (e analisadas) nesta época foram couve (couve e repolho), tomate, milho, feijão, cebola e batata. Para a maioria das colheitas a temporada terminou em September, mas em Báruè algumas colheitas foram colhidas até novembro. A colheita ocorre ao longo da estação em diferentes momentos, dependendo do comprimento crescente das culturas, condições climáticas locais e estratégias de gestão. As atividades de sensores voadores ocorreram com voos realizados uma vez a cada 3-4 semanas com o número total de voos, área de voo e agricultores monitorizados, apresentados no Tabela Tabela 2. Panorâmica do número de voos realizados e dos agricultores monitorizados durante a época de rega de 2022

Tabela 2. Panorâmica do número de voos realizados e dos agricultores monitorizados durante a época de rega de 2022

	Báruè	Moatize	Nhamatanda	Total
Voos realizados	60	48	35	143
Agricultores monitorizados	10	8	7	25
Área coberta	309 ha	312 ha	228 ha	930 ha
Agricultores monitorizados para WP	9	7	7	23

1.5 Localizações do projeto

1.5.1 Campos

Para cada distrito, foram selecionados vários pequenos agricultores comerciais (Pequenos Produtores Comercial ou PPCs) para o projeto de implementação de numerosas práticas inovadoras (boas practicas) para aumentar a produtividade da água. A maioria dos PPCs selecionados foram

² Van Opstal, J.D., A. Kaune. 2020. Relatório Técnico da Produtividade da Água - Avaliação de base para a APSAN-Projeto Vale. Relatório FutureWater 195

monitorizados com voos de sensores voadores. Em Bárue, Moatize, e Nhamatanda, nove, sete e sete PPCs, respectivamente, foram monitorizados para a análise da produtividade da água. As localizações dos PPCs monitorizados durante a época de irrigação são visualizadas na Figura 2.



Figura 2. Localização dos PPCs selecionados monitorizados com voos de sensores voadores durante a época de irrigação de 2022

1.5.2 Sub-bacias

A escala da sub-bacia é a escala espacial entre a escala de campo dos PPCs e a escala da bacia, tal como descrito na secção 2.1.3. Para a análise da produtividade da água ao nível da sub-bacia, é selecionada uma dimensão representativa das comunidades locais que rodeiam os PPCs. O objetivo do projeto APSAN-Vale é aumentar a produtividade da água de várias comunidades através da troca de conhecimento das intervenções em execução. Espera-se que as comunidades que rodeiam os PPC adotem determinadas boas práticas. Portanto, o aumento da produtividade da água é melhor monitorizado a uma escala que capta a mudança nas comunidades. A sub-bacia ou área comunitária é selecionada utilizando um tampão de aproximadamente 300 ha de raio em torno dos PPCs selecionados. As localizações destas comunidades são apresentadas nas figuras 3, 4 e 5 para Bárue, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. Cada um selecionou 3 a 4 agrupamentos na localização dos PPCs.

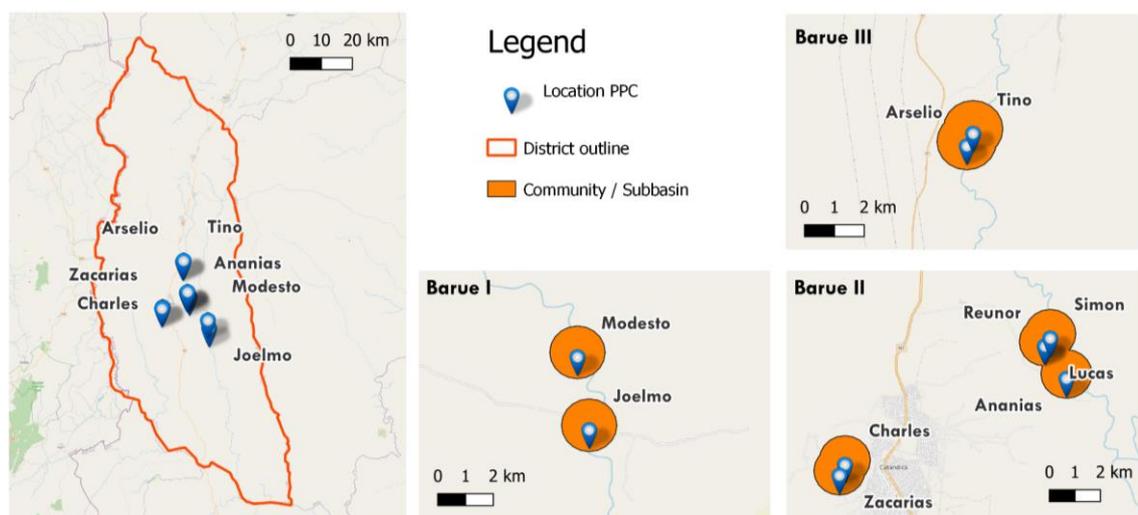


Figura 3. Localização e limites das zonas sub-bacias em Bárue

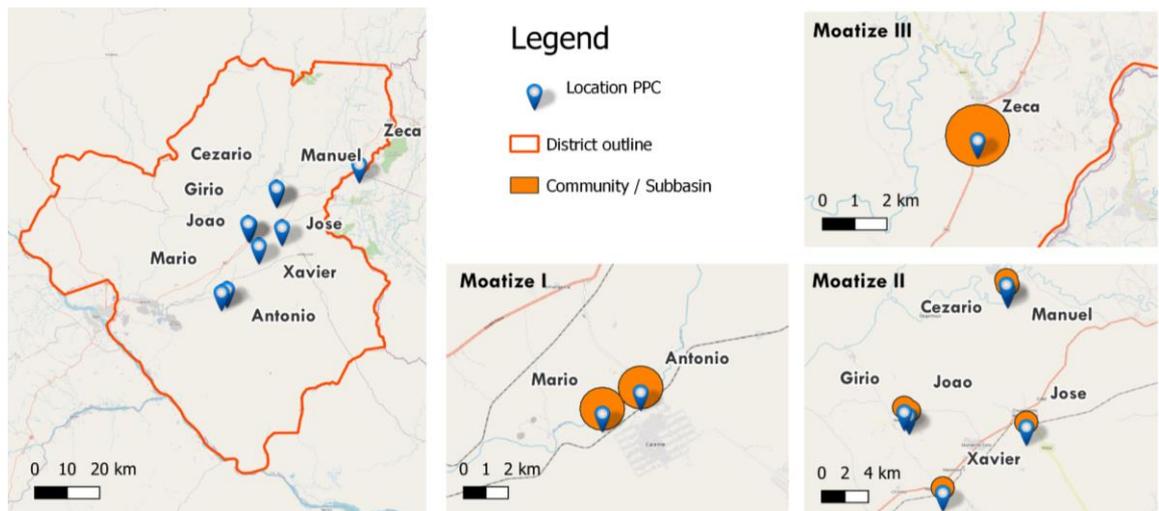


Figura 4. Localização e limites das áreas sub-bacias em Moatize

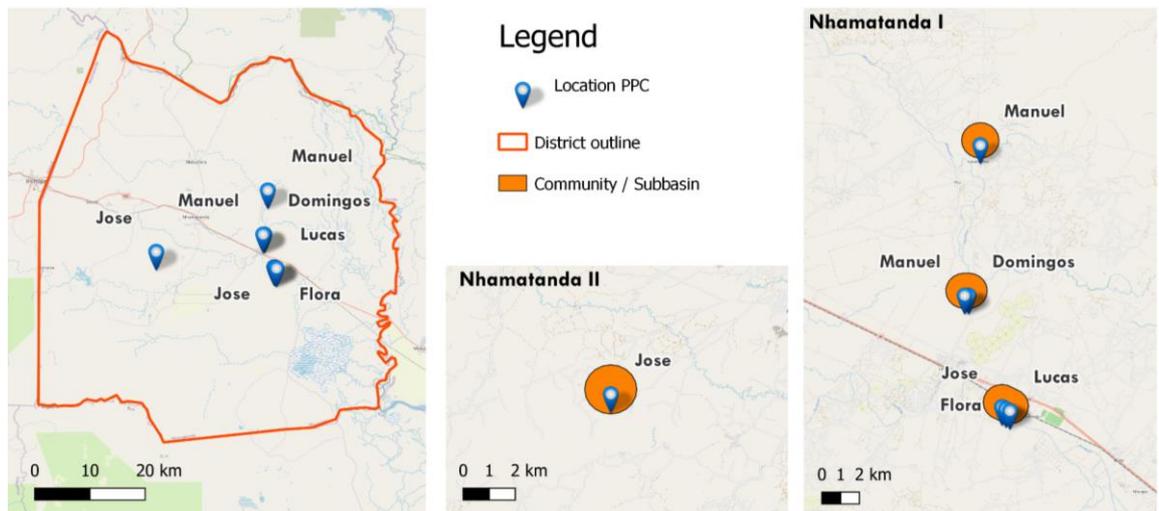


Figura 5. Localização e limites das zonas sub-bacias em Nhamatanda

1.5.3 Bacias

A delimitação da bacia foi realizada utilizando um Modelo de Elevação Digital (DEM) a 30m de resolução fornecida pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) da NASA e ferramentas QGIS. Os detalhes sobre os passos envolvidos podem ser revistos no manual (Kwast e Menke, 2019)³. Os pontos de saída das bacias são determinados através da avaliação da localização das atividades do projeto nos campos, como foi determinado no início do projeto⁴. As sub-bacias são representativas das localidades do projeto, enquanto as bacias representam uma imagem maior da zona a montante. As delimitações e localizações das atividades do projeto são mostradas nos mapas da Figura 6. As medições do fluxo de água foram conduzidas por parceiros do projeto em locais estratégicos nos ribeiros para quantificar as abstrações de água para irrigação.

³ van der Kwast, H. & Menke, K., QGIS for Hydrological Applications - Receitas para Hidrologia de Captação e Gestão de Água, Localizar Press, 2019.

⁴ Van Opstal, J.D., A. Kaune. 2020. Relatório Técnico da Produtividade da Água - Avaliação de base para a APSAN-Projeto Vale. Relatório FutureWater 195.

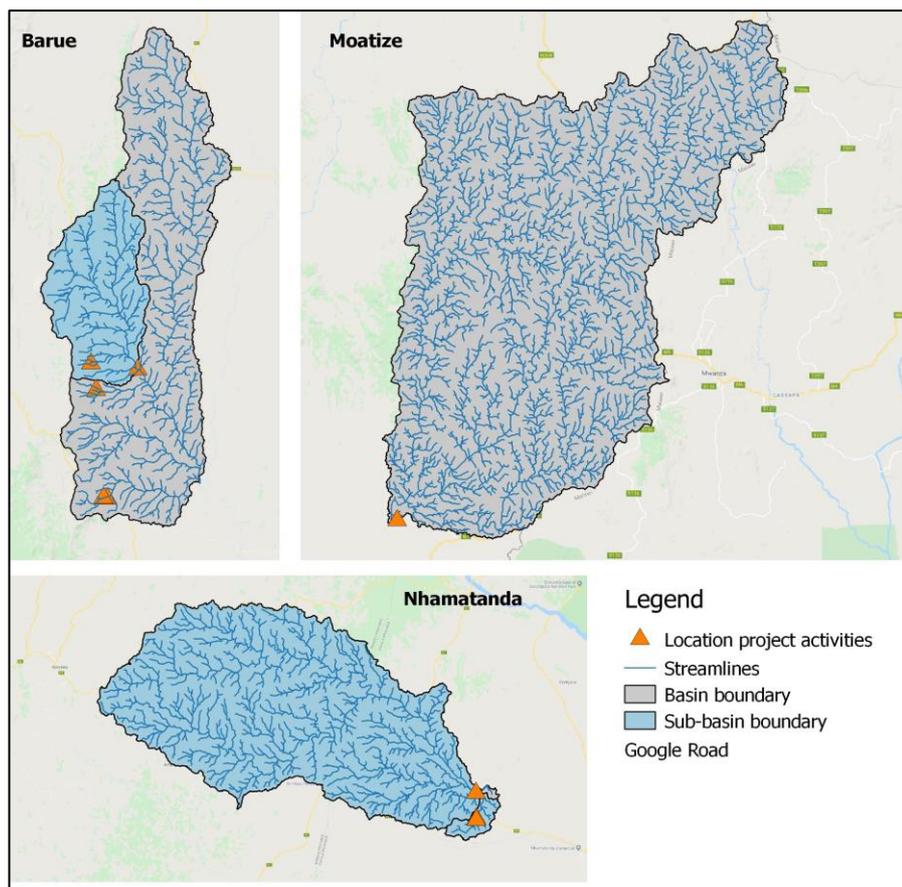


Figura 6. Delimitação de bacias e dinamizações para Bárue, Moatize e Nhamatanda

1.6 Guia de leitura

Este relatório técnico fornece os resultados da análise da produtividade da água no campo, sub-bacia e escala de bacia usando Imagens de Sensores Voadores, modelação de culturas e base de dados WaPOR da FAO. O capítulo seguinte (capítulo 2) elabora a metodologia utilizada para a realização da análise da produtividade da água. O Capítulo 3 fornece uma análise das condições meteorológicas durante a época de irrigação e compara-as com anos anteriores. Os capítulos 4, 5 e 6 fornecem os resultados da análise da produtividade da água no campo, sub-bacia e escala de bacia, respectivamente. O capítulo 7 avalia os resultados da produtividade da água e compara-os com os valores de avaliação de base. O capítulo 8 apresenta as observações resumindo e finalizadas.

2 Metodologia

2.1 Abordagem

2.1.1 Conceito de produtividade da água

A produtividade da água consiste em dois componentes: produção (quer como rendimento de culturas ou biomassa) e água consumida. O consumo de água ocorre através da evapotranspiração, que é a soma da transpiração vegetal através dos estomas nas folhas, e a evaporação que ocorre a partir da superfície do solo e água interceptada pelas folhas (Escudeiro, 2004)⁵. No âmbito deste projeto, foi selecionada a utilização de evapotranspiração (contra aplicação de irrigação), porque representa a componente do equilíbrio hídrico que não pode ser reutilizado pelos utilizadores a jusante num contexto de bacia hidrográfica. Os fluxos de retorno provenientes de zonas agrícolas (através de escoamento ou fluxo subterrâneo) estão disponíveis para reutilização nas zonas a jusante se a qualidade da água for suficiente. Como tal, a produtividade da água pode ser expressa como:

$$\text{Biomass water productivity [kg/m}^3\text{]} = \frac{\text{Biomass production [kg]}}{\text{Evapotranspiration [m}^3\text{]}}$$
$$\text{Crop specific water productivity [kg/m}^3\text{]} = \frac{\text{Crop harvestable yield [kg]}}{\text{Seasonal evapotranspiration [m}^3\text{]}}$$

Esta avaliação da produtividade da água contém duas abordagens para medir a produtividade da água, em escalas diferentes:

1. Produtividade da água à escala de campo: À escala de campo, a informação mais detalhada está disponível sobre o tipo de cultura, datas de plantação e colheita, e estratégias de gestão. A esta escala, a produtividade específica da água foi calculada para as culturas selecionadas nos três distritos diferentes utilizando a modelação de simulação de culturas em combinação com sensores voadores e imagens de satélite (Secção 2.1.2).
2. Produtividade da água à escala de sub-bacia e bacia: Nas escalas sub-bacia e bacias existem informações limitadas sobre a distribuição espacial dos tipos de culturas. A esta escala, a produtividade da água em biomassa foi calculada com base em dados da WaPOR, o Portal de Acesso Aberto da FAO com dados de produtividade da água (Secção 2.1.3).

2.1.2 Produtividade da água à escala de campo

A produtividade específica da água à escala de campo é determinada pela modelação de culturas utilizando observações de campo e dados obtidos a partir de sensores voadores e imagens de satélite. A Figura 7 apresenta o fluxo de trabalho para a realização da análise específica da produtividade da água. A produtividade da água é calculada com o modelo AquaCrop da FAO. Os dados de campo para a configuração das simulações do AquaCrop são retirados da estação meteorológica e dos cadernos de campo. Os sensores voadores capturam imagens em intervalos regulares para calcular a cobertura da capota. Este conjunto de dados é complementado com imagens de satélite (Sentinel 2) para uma maior frequência de dados (em resolução espacial inferior). Esta informação está integrada com o modelo AquaCrop para calibrar o modelo e calcular a produtividade da água. A vantagem de combinar observações de deteção remota de sensores voadores, dados de satélite e modelação de simulação, é que a perceção espacial é adquirida na diversidade de práticas de gestão agrícola. Assim, para cada campo, a simulação aquaCrop mais adequada é selecionada para ser representativa desse campo. Nas secções seguintes, os vários passos são elaborados.

⁵ Escudeiro, G.L.: Produtividade da Água na Agricultura: Limites e Oportunidades de Melhoria. Editado por J. W. Rio KijneR. Barker, D. Molde. Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing (2003), pp. 352, ISBN 0-85199-669-8, Exp. Agric., 40(3), 395-395, doi:10.1017/S0014479704372054, 2004.

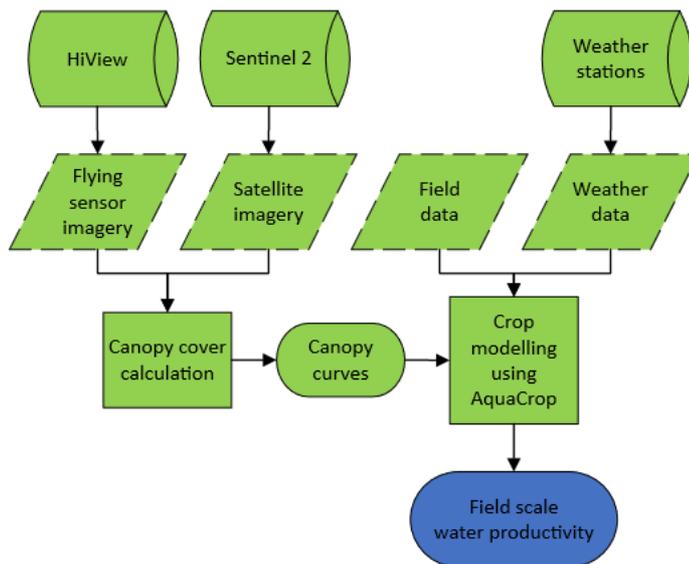


Figura 7. Fluxo de trabalho para o cálculo da análise da produtividade da água específica para as culturas

2.1.3 Produtividade da água à escala de sub-bacia e bacia

O WaPOR é o portal de dados de produtividade da água (<https://wapor.apps.fao.org>) da FAO que contém informações sobre evapotranspiração, produção de biomassa, cobertura terrestre e muitas outras camadas. A informação à escala da bacia foi extraída através da definição de uma definição de captura para os distritos seleccionados. Isto foi realizado com um DEM (modelo de elevação digital). A definição de captura é apresentada na figura 6 para as áreas seleccionadas.

A camada de cobertura de terra em WaPOR foi usada para determinar a localização das terras agrícolas nas bacias. O procedimento para esta análise segue as orientações fornecidas pelo projeto WaterPIP (Produtividade da Água na Prática) e o fluxo de trabalho é apresentado esquematicamente na Figura 8. Na Secção 2.7 os conjuntos de dados WaPOR utilizados para esta análise são descritos com mais pormenor. À escala da sub-bacia, são utilizadas camadas semelhantes para extrair informações sobre a produtividade da água.

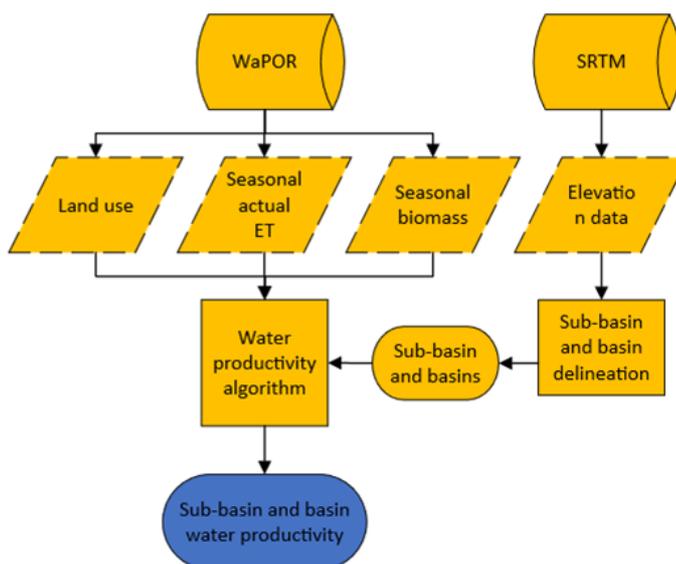


Figura 8. Fluxo de trabalho para análise da produtividade da água de biomassa

2.1.4 Visão geral da metodologia

O fluxograma fornece uma visão geral das diferentes medidas que foram tomadas durante este projeto (Figura 9). As sub-seções seguintes serão dedicadas a explicar cada passo.



Figura 9. Flowchart representando a metodologia do projeto

2.2 Passo 1: Aquisição de imagens de sensores voadores

2.2.1 Equipamento de sensor voador

O voo o equipamento sensor utilizado em APSAN-Vale é um drone Mavic Pro e uma câmara adicional para detetar o estado da vegetação. Figura 10 mostra uma foto do Sensor Voador usado, incluindo ambas as câmaras. Uma câmara faz imagens RGB (vermelho-verde-azul), semelhantes às imagens visuais vistas com o olho humano. A segunda câmara mede o comprimento de onda quase infravermelho (NIR), que não é visível para o olho humano. O comprimento de onda quase infravermelho tem uma boa resposta às condições da vegetação. Figura 11 dá uma ilustração da resposta às condições stressadas de uma folha. Se a folha estiver em ótima saúde, o comprimento de onda NIR tem uma resposta elevada. Se a folha estiver em condições stressadas ou doentes, o comprimento de onda NIR tem uma resposta mais baixa. Isto já é medido pelo comprimento de onda NIR antes de ser visível ao olho humano.



Figura 10. O nosso sensor voador em ação

Outra vantagem de utilizar os Sensores Voadores neste projeto é a flexibilidade para a captura de imagens e a elevada resolução espacial das imagens adquiridas. Os sensores voadores podem fazer voos quando necessário nos intervalos desejados. Para este projeto, a frequência da aquisição de imagens foi direcionada de uma vez em cada 3 semanas, o que melhor captura as fases de desenvolvimento de culturas. Este intervalo foi por vezes mais longo devido às condições meteorológicas ou à logística. A resolução espacial do imaginário é de 4-8 cm, fornecendo detalhes suficientes para capturar a variação espacial da agricultura de pequeno proprietário.

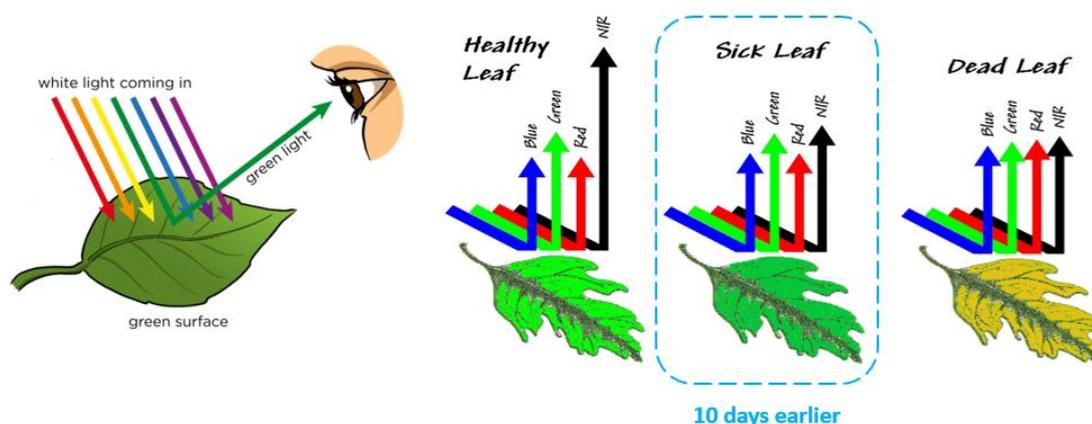


Figura 11. Ilustração explicando a resposta do comprimento de onda quase infravermelho (NIR) ao estado da vegetação

2.2.2 Aquisição de imagens de sensores voadores

As imagens de sensores voadores foram adquiridas em intervalos regulares durante toda a época de crescimento. No Tabela 3 é fornecida uma visão geral do número de voos realizados e em que data (por vezes distribuída por 2 ou 3 dias). O número total de voos para Báruè, Moatize e Nhamatanda foi de 60, 48 e 35, respectivamente. A área total monitorizada com os sensores voadores foi de 309 ha, 312 ha e 228 ha para Báruè, Moatize e Nhamatanda, respectivamente.

Tabela 3. Panorâmica dos voos e da área durante a época de rega de 2022

	Báruè	Moatize	Nhamatanda
Maio		16-05-2022	
		17-05-2022	
		18-05-2022	
		19-05-2022	
Junho	06-06-2022	12-06-2022	
	10-06-2022	13-06-2022	
	11-06-2022	14-06-2022	
		15-06-2022	
Julho	04-07-2022	12-07-2022	04-07-2022
	06-07-2022	13-07-2022	05-07-2022
		15-07-2022	06-07-2022
Agosto	16-08-2022	23-08-2022	15-08-2022
	17-08-2022	24-08-2022	17-08-2022
	18-08-2022	27-08-2022	18-08-2022
Setembro	05-09-2022	13-09-2022	05-09-2022
	06-09-2022	14-09-2022	06-09-2022
	07-09-2022	15-09-2022	07-09-2022
	27-09-2022	16-09-2022	

	28-09-2022 29-09-2022		
Outubro		28-10-2022 30-10-2022	
Novembro	04-11-2022 05-11-2022		01-11-2022 02-11-2022
Voos realizados	60	48	35
Área coberta	309 ha	312 ha	228 ha

2.3 Passo 2: Dados enriquecentes com imagens Sentinel 2

Sentinel 2 é uma plataforma de satélite de acesso aberto que fornece imagens a cada 3 a 5 dias numa resolução espacial de 10x10m. Esta resolução é suficiente para capturar o desenvolvimento das culturas dos campos agrícolas, mas demasiado grosseira para determinar as variações espaciais pormenorizadas no interior. Estas variações espaciais dentro do campo podem ser monitorizadas com imagens de sensores voadores numa resolução mais elevada. Os dados do Sentinel 2 são utilizados suplementarmente às imagens dos sensores voadores para capturar com mais frequência o desenvolvimento das culturas e preencher as lacunas entre os intervalos de 3 a 5 semanas dos intervalos de imagem dos sensores voadores (como indicado no Tabela 3).

As imagens Sentinel 2 são processadas pela primeira vez para imagens sem nuvens através das bandas de qualidade fornecidas com o conjunto de dados de imagens. O NDVI é calculado e utilizado para determinar a fração de cobertura vegetativa, determinando o NDVI para solo nu e campos de cobertura totalmente vegetativos. A fração de cobertura vegetal é semelhante à cobertura da capota derivada das imagens do sensor voador. O processamento das imagens Sentinel 2 foi realizado utilizando a computação em nuvem do Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>).

2.4 Passo 3: Processamento para mapas de cobertura de capota

As imagens adquiridas pelos Sensores Voadores foram pós-processadas. No início, as imagens únicas de cada voo foram cosidos para formar um mosaico ortho. Estes foram então georreferenciados para que pudessem ser usados em análises geoespaciais. Estes passos foram realizados usando pacotes de software: Agisoft Metashape e QGIS (software geoespacial).

Os passos seguintes de processamento foram necessários para alcançar uma série de mapas de cobertura de vela. As imagens do sensor voador foram processadas usando a codificação R, tornando também o processo mais eficiente. A banda NIR da imagem foi usada para determinar os pixels de vegetação de cada imagem usando o pacote R 'kmeans' para classificação automática de imagens. Manualmente, o utilizador determina qual a classe indicada como vegetação. Estas informações são então utilizadas para calcular a cobertura da copa, que é uma indicação da cobertura de vegetação sobre uma superfície em percentagem e está na mesma categoria que outros índices de vegetação geralmente utilizados na deteção remota, por exemplo, Índice de Área de Folha (LAI) ou Índice normalizado de Vegetação da Diferença (NDVI). A cobertura da capota varia de 0 a 100%. A cobertura total da vegetação resultará numa cobertura de 100%. Uma grelha de 1x1 metros (=1m²) é sobreposta sobre um campo de cultivo. O número de pixels de vegetação (de 0,05x0,05 metros = 0,0025 m²) é contado para determinar a percentagem da grelha que é coberta por vegetação, assim a cobertura da copa. Esta informação é utilizada em combinação com a modelação das culturas para determinar o rendimento das culturas e a produtividade da água.

2.5 Passo 4: Modelação do crescimento das culturas

2.5.1 AquaCrop

O modelo AquaCrop foi selecionado para simular o crescimento das culturas e o consumo de água, que se baseia nos princípios da FAO, conforme relatado nos papéis de irrigação e drenagem da FAO nº 56 e #66. Simula tanto o desenvolvimento das culturas como o equilíbrio da água, resultando em resultados da produtividade da água das culturas.

Vários modelos de crescimento de culturas foram desenvolvidos para simular o rendimento das culturas e a produtividade da água. A seleção do modelo depende da escala de aplicação e da capacidade de limitar a incerteza do parâmetro do modelo. O AquaCrop é um modelo de cultura amplamente utilizado desenvolvido pela FAO, que simula a resposta de rendimento à água usando parâmetros fisicamente baseados. Tem sido usado em estudos de impacto sobre as alterações climáticas em várias partes do mundo (Hunink et al., 2014⁶; Hunink e Droogers, 2010⁷, 2011⁸). Além disso, o AquaCrop foi aplicado para prever a produtividade da água e o rendimento das culturas com base na informação dos sensores voadores (den Besten et al., 2017⁹, van Opstal, 2019¹⁰) e para avaliar cenários de agendamento de irrigação (Goosheh et al., 2018¹¹). É especialmente recomendado para aplicações de pequeno nível agrícola. Além disso, trata-se de um modelo de código aberto que está livremente disponível para aplicação. Assim, o modelo adequado para fins APSAN-Vale.

A FAO tem parâmetros de modelo pré-estabelecidos para simular a cobertura da copa, a transpiração real das culturas e a evaporação do solo, a biomassa e o rendimento das culturas durante um período de crescimento, desde a sementeira até à colheita (Figura 12). Neste trabalho, os parâmetros de modelo selecionados foram sintonizados com base em observações. Os parâmetros do modelo afinados incluíam densidade vegetal, duração do período de crescimento, aumento da cobertura da capota, diminuição da cobertura da copa, índice de colheita, stress de fertilidade e cobertura de ervas aromáticas.

⁶ Hunink, J.E., Droogers, P. e Tran...mai, K.: Tendências passadas e futuras na produção de culturas e procura e oferta alimentar na bacia do Baixo Mekong., 2014.

⁷ Hunink, J. E. e Droogers, P.: Avaliação do impacto das alterações climáticas na produção de culturas na Albânia. Estudo do Banco Mundial sobre a Redução da Vulnerabilidade às Alterações Climáticas na Europa e na Ásia Central (ECA) Sistemas Agrícolas, Relatório FutureWater 105., 2010.

⁸ Hunink, J. E. e Droogers, P.: Avaliação do impacto das alterações climáticas na produção de culturas no Usbequistão. Estudo do Banco Mundial sobre a Redução da Vulnerabilidade às Alterações Climáticas na Europa e na Ásia Central (ECA) Sistemas Agrícolas, Relatório FutureWater 106., 2011

⁹ den Besten, N., Simons, G. e Hunink, J.: Avaliação da produtividade da água usando sensores voadores e colheita Modelação. Estudo piloto para o Milho em Moçambique, 2017.

¹⁰ Van Opstal, J.D. 2019. APSAN-Vale Produtividade Da Água Temporada 2018/2019. Relatório FutureWater.

¹¹ Goosheh M., Pazira E., Gholami Um. Andarriana B. e Panahpour, E.: Melhorar o agendamento de irrigação do trigo para aumentar a produtividade da água em condições de águas subterrâneas rasas Aquacrop, Rio Irrig. Drain., 0(0), doi:10.1002/ird.2288, 2018.

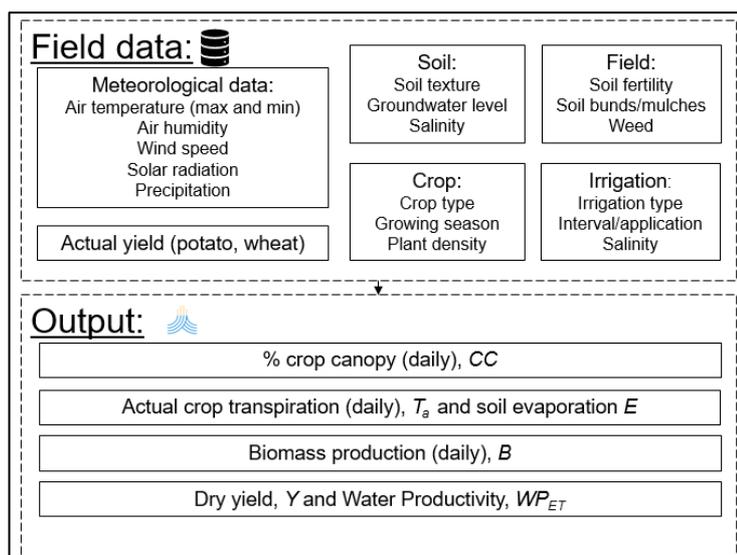


Figura 12. Dados de campo e simulações de saída do modelo AquaCrop

2.5.2 Dados de entrada

O tempo

Os dados meteorológicos eram necessários como entrada para o modelo AquaCrop. Estes dados foram derivados de uma variedade de fontes. As estações meteorológicas do Observatório Hidro-Meteorológico Trans-Africano (TAHMO) foram instaladas em cada escritório distrital para representar as condições meteorológicas na área. Estas estações foram instaladas no início de 2019 e fornecem observações meteorológicas até ao final da época de rega. Ocasionalmente, ocorrem avarias no equipamento TAHMO. Durante estes períodos, os dados meteorológicos foram complementados com dados meteorológicos de deteção remota de acesso aberto disponíveis, tais como dados de precipitação do Grupo de Riscos Climáticos Precipitação Infrared com base de dados da Estação (CHIRPS) ou a base de dados WaPOR para evapotranspiração de referência. Adicionalmente, os dados meteorológicos médios a longo prazo foram adquiridos a partir dos produtos de dados do Global Land Data Assimilation System (GLDAS). Isto é explicado no relatório de avaliação de base (Relatório FutureWater 195)¹².

Dados de campo

O passo seguinte para as simulações do AquaCrop foi recolher informações básicas das culturas dos locais selecionados (Báruè, Moatize e Nhamatanda). Informações básicas sobre datas de plantação, densidade vegetal, comprimento total de crescimento (duração do ciclo de cultura) e rendimento das culturas são fundamentais para a obtenção de simulações fiáveis do AquaCrop. Vários destes parâmetros são específicos de cada campo. Por conseguinte, as notas recolhidas no livro de campo dos PPCs foram copiadas e ligadas a campos específicos (indicados com polígonos ou ficheiros de forma) para tornar a simulação adaptada à situação do PCP. No anexo 1, podem ser encontrados os dados relativos às decisões de gestão. No modelo AquaCrop, vários parâmetros de cultura devem ser calibrados para simular a cobertura de vela específica para as culturas, transpiração, biomassa e rendimento durante a época de cultivo para determinar finalmente a produtividade da água. Foram obtidos parâmetros específicos das culturas a partir dos ficheiros de cultura originais disponíveis no modelo AquaCrop. Para a Couve e Cebola, obtivemos a informação do parâmetro de cultura de outros estudos (Agbemabiese et al., 2017; Pawar et al., 2017; Pérez-Ortolá et al., 2015; Wellens et al., 2013).

¹² Van Opstal, J.D., A. Kaune. 2020. Relatório Técnico da Produtividade da Água - Avaliação de base para a APSAN-Projeto Vale. Relatório FutureWater 195.

Tabela 4 apresenta os parâmetros do modelo de cultura calibrado por cultura. Estes parâmetros incluem o Índice de Colheita (HI) (%), Aumento da Cobertura de Dossel, CGC (-), Diminuição da Cobertura de Vela, CDC (-), e o comprimento de estágios de cultivo específicos (por exemplo, sementeira até ao surgimento, semeando a profundidade máxima de enraizamento, etc. O HI é um parâmetro conhecido para converter a biomassa em rendimento de cultura. CGC é uma medida da capacidade intrínseca da capota para expandir. Após a cobertura começar a sentir, a cobertura da capota é reduzida progressivamente aplicando um coeficiente de declínio da copa empírica (CDC). HI, CGS e CDC variam dependendo da variedade de cultura e da qualidade das sementes. O método utilizado para calcular o comprimento das fases de cultivo específicas para o milho, feijão, tomate e batata foi o modo Growing Degree Days (°C days), que explica os efeitos dos regimes de temperatura na fenologia das culturas. Para cabbage e onion foi usado o modo dias de calendário foi usado, o que indica que as diferentes fases de crescimento das culturas têm comprimentos fixos em dias. Eventualmente, o comprimento das fases de cultivo foi calibrado o n as informações de campo recolhidas (anexo 1). Isto foi feito multiplicando os parâmetros de crescimento das culturas por um fator comum até que o desenvolvimento simulado das culturas correspondia ao desenvolvimento das culturas observado pelos sensores voadores e imagens de satélite.

Tabela 4. Parâmetros de cultura calibrados utilizados no AquaCrop

	Milho	Feijão	Tomate	Batata	Couve*	Cebola*
Hi (%)	20	30	60	80	50	40
CGC (-)	0.0050	0.0049	0.0075	0.0162	0.1190	0.1190
CDC (-)	0.0040	0.0044	0.0040	0.0020	0.1000	0.1000
Da sementeira ao surgimento (dias°C)	132	88	43	310	2	6
Da sementeira à profundidade máxima de enraizamento (°C dias)	2324	1332	891	1672	40	77
Da sementeira à senescência inicial (dias°C)	2310	1354	1553	1525	86	45
Da sementeira à maturidade (duração do ciclo de cultura) (°C dias)	2805	1947	1933	1977	100	85
Da sementeira à floração (°C dias)	1452	834	525	852	28	67
Comprimento do estágio de floração (°C dias)	297	349	750	1	40	18

*Estágios crescentes em dias de calendário.

Informação sobre gestão de solos e de campo

De acordo com a informação recolhida sobre o campo, a textura do solo de cada local foi determinada. As propriedades hidráulicas do solo estão correlacionadas com a textura do solo. O modelo AquaCrop inclui propriedades hidráulicas pré-estabelecidas, tais como Capacidade de Campo (FC) e Ponto De Wilting (WP) para cada textura do solo. Os valores da capacidade de campo e do ponto de murcha são fundamentais para determinar a capacidade de armazenamento de água do solo e determinar os limiares de stress da água. Na Tabela 5 são mostradas as texturas do solo obtidas para cada local. O tipo de solo para Bárue foi atualizado na época passada, devido a novos dados de campo adquiridos.

Na Figura 13, é mostrado um exemplo dos valores FC e WP (FC=22%, WP=10%) utilizado no modelo AquaCrop para loam arenoso.

Tabela 5. Textura do solo em cada site

Site	Textura do solo
Báruè	Loam de argila de areia
Moatize	Argila arenosa
Nhamatanda	Argila arenosa

```

1 deep uniform 'sandy loam' soil profile
2 6.0 : AquaCrop Version (March 2017)
3 46 : CN (Curve Number)
4 7 : Readily evaporable water from top layer (mm)
5 1 : number of soil horizons
6 -9 : variable no longer applicable
7 Thickness Sat FC WP Ksat Penetrability Gravel CRa CRb description
8 ---(m)--- ----(vol %)----- (mm/day) (%) (%) -----
9 4.00 41.0 22.0 10.0 1200.0 100 0 -0.323200 0.219363 sandy loam
10

```

Figura 13. Características do solo em Moatize como usado no AquaCrop

2.6 Passo 5: Calibrar o desenvolvimento das culturas para obter a produtividade da água

O modelo AquaCrop foi calibrado utilizando o sensor voador e os dados do Sentinel 2. Tfoi feito determinando a cobertura máxima da capota usando uma linha de tendência curva equipada. Os valores médios da cobertura do dossel foram tomados e traçados ao longo da estação de cultivo. A cobertura da copa segue uma tendência curvilínea positiva que representa o desenvolvimento da cultura até à cobertura completa. Os sensores voadores monitorizaram a cobertura da capota durante toda a época de crescimento e, assim, capturaram partes da curva da capota em intervalos frequentes. Estes dados foram complementados com pontos de dados adicionais do Sentinel 2. Uma tendência curvilínea semelhante do desenvolvimento das culturas também foi simulada no AquaCrop. Para o processo de calibração, a cobertura de vela máxima combinada dos sensores voadores e os dados do Sentinel 2 foram comparados com a cobertura simulada do AquaCrop. A saída do AquaCrop foi iterativamente calibrada até que foram encontrados resultados semelhantes entre a cobertura máxima de vela medida e simulada.

O modelo AquaCrop foi criado utilizando os módulos e dados de entrada listados nas secções anteriores. Os parâmetros calibrados eram principalmente variáveis de gestão agrícola que são sensíveis no AquaCrop e could não são medidos com precisão no campo. Os parâmetros selected para calibração foram a densidade vegetal, o stress dos fertilizantes e o esgotamento máximo admissível da água do solo (para eventos de irrigação). Após a execução das simulações com várias combinações de parâmetros, as simulações superiores foram selecionadas exibindo erro limitado com a tampa da capota, conforme observado nas imagens do sensor voador. A partir do AquaCrop selecionado, a produtividade calculada da água, evaporação, transpiração e rendimento seco foram médias.

2.7 Passo 6: Cálculo da produtividade das águas sub-bacia e das bacias

A base de dados FAO WaPOR contém vários conjuntos de dados derivados da deteção remota por satélite e está disponível através do portal de dados de acesso aberto: <https://wapor.apps.fao.org>. As camadas utilizadas pela WaPOR são a evapotranspiração e interceção reais (AETI), a produção primária líquida (NPP)e a cobertura terrestre (LCC). Oseu parágrafo descreve as camadas de dados utilizadas na base de dados fao WaPOR e explica como foram usadas para calcular os valores de produtividade da água. As camadas de dados foram descarregadas para as três bacias de Moçambique (Figure 6) e agregadas para encontrar valores sazonais para a época de rega de 2022: abril de 2022 a

setembro de 2022. Além disso, as camadas de dados também foram descarregadas para as sub-bacias (Figures 3, 4 e 5) para a época de irrigação de 2022.

2.7.1 Evapotranspiração e interceção reais

A evapotranspiração real da WaPOR é calculada usando um algoritmo de equilíbrio energético superficial baseado nas equações do modelo ETLook¹³. Usa uma plataforma de satélite com aquisição de imagens multi-espectrais e térmicas. Além disso, os dados meteorológicos de produtos de dados de detecção remota foram utilizados como entrada. Os componentes do equilíbrio energético são calculados com o algoritmo especificado: radiação líquida, fluxo de calor do solo e fluxo de calor sensato. O fluxo de calor latente é calculado como residual para o equilíbrio energético e representa o componente de evapotranspiração (ET) do equilíbrio energético.

O conjunto de dados ET real da WaPOR utilizado neste relatório é de nível II (resolução espacial de 100 metros) e está disponível mensalmente. Todas as imagens entre a data de plantação e a data de colheita são resumidas, o que recupera a soma sazonal para a evasão e interceção reais.

2.7.2 Produção de biomassa

A produção de biomassa foi calculada utilizando a camada de dados de produção primária líquida mensal (NPP) da WaPOR. Os dados do NPP foram calculados em WaPOR utilizando um modelo de eficiência de utilização de luz¹⁴. Este modelo determina a quantidade de radiação fotossintética que chega a uma superfície e a quantidade que é absorvida pela vegetação dependendo da quantidade de cobertura vegetativa e (não)condições de stress. Isto indica o resultado do processo de fotossíntese na produção de NPP ou de biomassa de matéria seca. A produção de biomassa da WaPOR foi resumida para a época de irrigação. A partir da biomassa sazonal e da sazonalidade, a produtividade da água para a época de rega em 2022 foi calculada.

2.7.3 Camadas suplementares

Além disso, a evapotranspiração de referência (ET) também é fornecida pelo portal de dados WaPOR a 20 km de resolução e nos passos diários. Uma série de tempo deste conjunto de dados é usada como os dados de entrada meteorológico necessários para a modelação da cultura. Por último, o mapa de cobertura de terra em WaPOR é usado para identificar os pixels que contêm terras de cultivo. Isto é usado para calcular a produtividade da água de biomassa para as terras de cultivo, excluindo assim os pixels da vegetação natural e áreas urbanas.

2.8 Passo 7: Normalização para as condições meteorológicas anuais

Para a avaliação de base¹⁵, foram utilizados dados meteorológicos de um período de 18 anos para a análise da escala de campo (2001 - 2018). Para a análise da escala da bacia, foram 10 anos de dados (2009 - 2018). O período de análise da escala da bacia foi mais curto devido à disponibilidade de dados da WaPOR. Ambos os períodos são considerados suficientes para capturar a variabilidade inter-anual nas condições meteorológicas, com os anos secos e húmidos existentes num prazo de 10 anos. Os resultados estatísticos desta análise de base serão, por conseguinte, representativos da variedade das condições meteorológicas.

Numa análise mais aprofundada deste projeto, os valores da produtividade da água são normalizados para as condições meteorológicas para determinar se as alterações na produtividade da água são

¹³ Bastiaanssen et al. (2012)

¹⁴ Rio Hilker et al. (2008) e várias outras publicações

¹⁵ Van Opstal, J.D., A. Kaune. 2020. Relatório Técnico da Produtividade da Água - Avaliação de base para a APSAN-Projeto Vale. Relatório FutureWater 195.

resultado das condições meteorológicas ou do impacto das inovações do projeto. A normalização dos valores de produtividade da água foi calculada utilizando a equação abaixo usando 2022 como exemplo ano e utilizando a evapotranspiração de referência (ET_0) como representante das condições climáticas anuais. Esta equação e metodologia foram descritas por Bastiaanssen e Steduto (2016)¹⁶, como um método para comparar a produtividade da água entre anos e regiões com diferentes condições climáticas.

$$WP_{norm} [kg/m^3] = \frac{WP_{2022} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times ET_{0,average\ 2001-2018} [mm]}{ET_{0,2022} [mm]}$$

2.9 Passo 8: Avaliação sazonal da produtividade da água

O passo final é a avaliação sazonal da produtividade da água. Neste passo, os resultados da produtividade da água do campo, sub-bacia e escala da bacia foram combinados e comparados com a avaliação de base e aseasonações anteriores. Avaliação da produtividade da água realizada em três níveis. No início, a alteração da produtividade da água deveu-se a intervenções específicas no domínio dos PPCs que foram avaliados. Este nível é considerado a escala local da alteração da produtividade da água. Em segundo lugar, a alteração da produtividade da água das comunidades circundantes foi avaliada. Isto será influenciado pelas COMUNIDADES vizinhas e pelas comunidades que adotam as intervenções. Este nível é considerado como o aumento da produtividade global da água da região ou da sub-bacia. Por último, a análise do nível da bacia foi utilizada para monitorizar a produtividade da água numa escala maior, uma vez que se espera que o impacto do projeto seja diretamente medido à escala da bacia devido à extensão da área.

Os resultados médios desta temporada foram comparados com os 75º valores percentil¹⁷ da linha de base, tal como apresentado no Relatório FutureWater 195¹⁸. Isto proporcionou a produtividade média da água entre 2001 e 2018. Esta avaliação é a base da produtividade da água para os locais do projeto, sem quaisquer intervenções colocadas pelas atividades da APSAN-Vale. Foi assumido que os PPCs na linha de base tinham um objetivo comercial e atingiram uma produtividade relativamente maior em comparação com a média de todos os agricultores. Portanto, o valor de base utilizado para a comparação é o percentil de 75th, indicando que os valores de base eram superiores aos reais.

¹⁶ Bastiaanssen, W.G.M., & Steduto, P. (2016). A pontuação da produtividade da água (WPS) a nível global e regional: Metodologia e primeiros resultados de medições de deteção remota de trigo, arroz e milho. *Ciência do Ambiente Total*, 575, 595-611. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.032>

¹⁷ Trata-se de uma medida utilizada nas estatísticas que indicam o valor abaixo do qual uma determinada percentagem de observações num grupo de observações se encontra. Neste caso, 25% das observações são encontradas acima do percentil 75.

¹⁸ Van Opstal, J.D., A. Kaune. 2020. Relatório Técnico da Produtividade da Água - Avaliação de base para o projeto APSAN-Vale. Relatório FutureWater 195.

3 Condições meteorológicas sazonais

Este capítulo apresenta as condições meteorológicas sazonais da época de rega de 2022. O capítulo inclui séries temporais de evapotranspiração de referência e precipitação de abril a novembro de 2022. Além disso, são apresentados dois lotes de barras que mostram a diferença nas condições meteorológicas sazonais para o relatório de base. Para estas parcelas de bar foi utilizada uma gama de meses diferente (abril a outubro), semelhante ao relatório de base.

3.1 Evapotranspiração de referência

Foram recolhidos dados meteorológicos das estações meteorológicas do TAHMO. As observações foram usadas para calcular a evapotranspiração de referência diária (ET) para os diferentes distritos ao longo da época de rega de 2022. A série de tempo de referência diária ET mostra padrões sazonais semelhantes para os três distritos diferentes (Figura 14). A referência diária ET para todos os distritos variava entre 2 e 7 mm/dia. Nos primeiros meses, as flutuações no ET de referência diária são relativamente grandes. As flutuações diminuem constantemente ao longo do período de irrigação até que um ET de referência bastante homogêneo foi encontrado no final da época de irrigação. Verificou-se que a referência calculada ET para Bárue foi sobrestimada nos primeiros 15 dias. Os dados da WaPOR foram utilizados para preencher os valores sobrestimados. Do mesmo modo, foram preenchidas lacunas com o produto ET de referência WaPOR para dias individuais em que as estações TAHMO não registaram observações sobre a velocidade do vento.

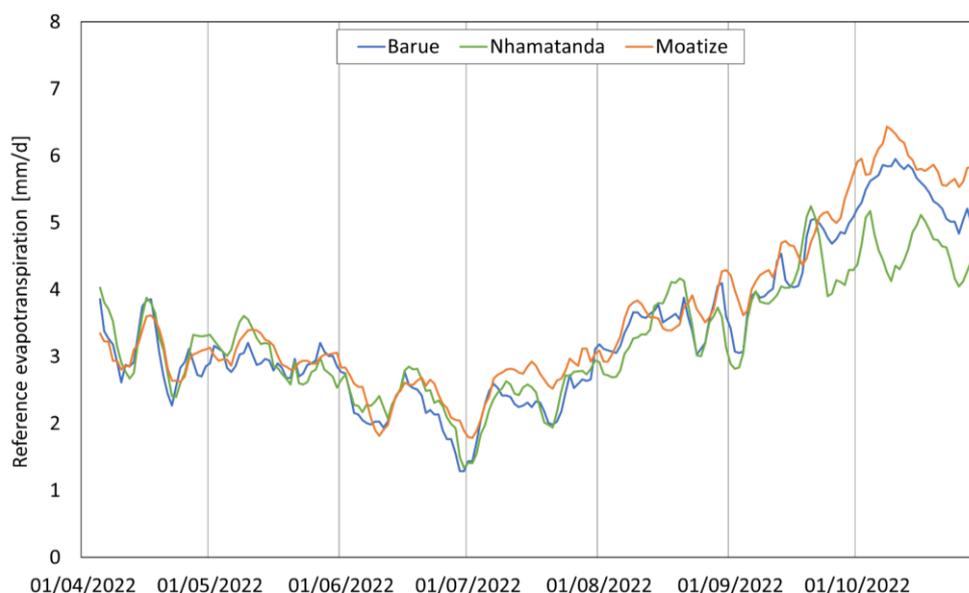


Figura 14. Evapotranspiração média móvel de cinco dias para Moatize e Nhamatanda durante a temporada de irrigação de 2022 das estações TAHMO.

As condições meteorológicas da época de rega de 2022 foram comparadas com o conjunto de dados históricos (2001-2018) utilizado na avaliação de base (abril a setembro). O conjunto de dados histórico contém uma infinidade de anos secos e húmidos e, portanto, é uma boa representação das condições meteorológicas gerais nos distritos designados. Verificou-se que a referência mensal ET durante a época de rega de 2022 se desviava um pouco das condições médias (Figura 15). Durante quase todos os meses, a referência mensal ET em todos os distritos foi mais baixa do que no conjunto de dados históricos. As diferenças foram maiores no distrito de Bárue, onde foi registada uma diferença de 44 mm para a época de rega total. O ET de referência sazonal total é apresentado no Tabela 6. Mostra a

temporada de 2022 e a média de longo prazo para a época de rega. Os valores apresentados são utilizados na normalização dos resultados da produtividade da água, conforme descrito na Secção 2.8 deste documento.

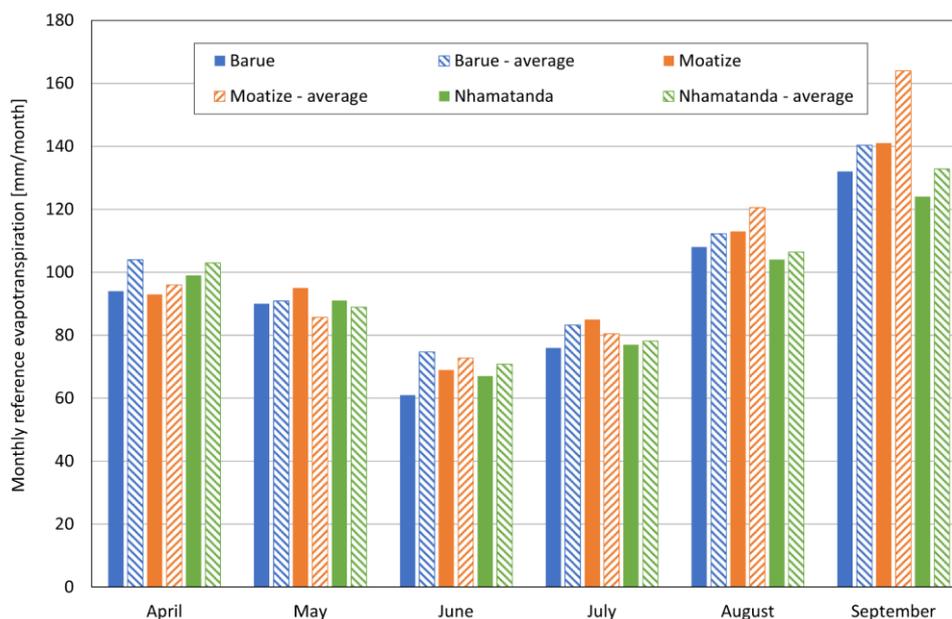


Figura 15. Comparação de 2022 de referência mensal evapotranspiração com média de longo prazo (2009-2018) utilizada na análise de base.

Tabela 6. Evapotranspiração total de referência sazonal para Báruè, Moatize e Nhamatanda durante a temporada de 2022 i rrigation e média da temporada de irrigação de longo prazo (2001-2018).

Referência ET [mm]	Báruè	Moatize	Nhamatanda
Temporada de rega de 2022	561	596	562
Média de longo prazo 2001-2018	605	619	580

3.2 Precipitação

Durante a época de rega, a precipitação é tipicamente baixa nesta região. A precipitação é registada nas estações TAHMO. Durante a temporada, algumas avarias ocorreram nas estações de Báruè e Moatize, pelo que são utilizados dados de satélite do CHIRPS (como se pensava que o portal WaPOR) é utilizado. Os dados da época de regade 2022 são apresentados na Figura 16. Precipitação diária para a época de rega de 2022 do TAHMO. A figura apresenta fortes chuvas em janeiro para Báruè e Moatize e em maio para Nhamatanda. Para o resto da temporada, a precipitação foi baixa.

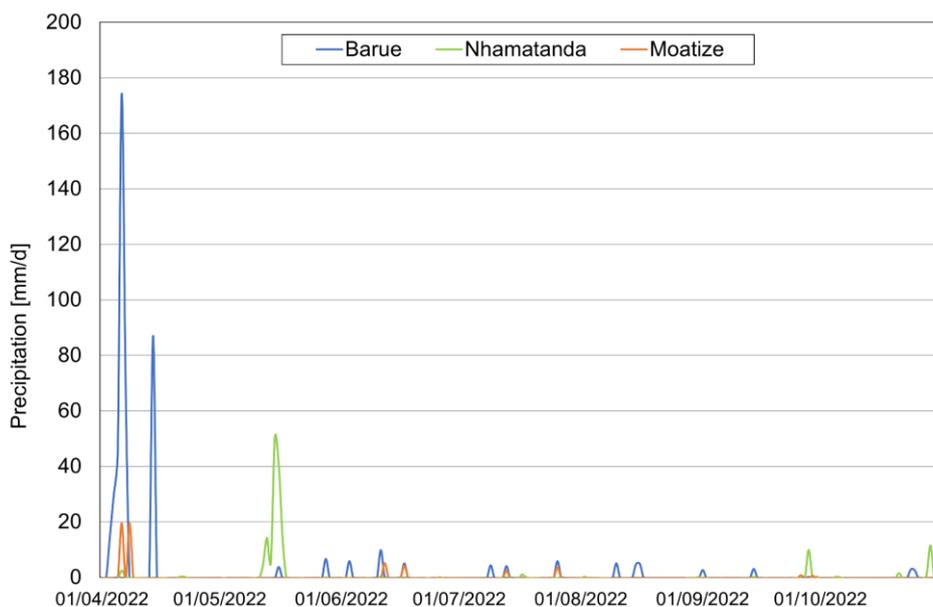


Figura 16. Precipitação diária para a época de rega de 2022 do TAHMO

A precipitação mensal total mostra que abril e maio foram meses húmidos em comparação com a média de longo prazo (Figura 17). Abril de 2022 estava molhado para Bárue e Moatize, mas não para Nhamatanda, onde pode ser o mês mais húmido. O resto da temporada foi mais média para todos os distritos. A precipitação sazonal para os três distritos mostra que durante toda a temporada Bárue foi significativamente mais húmida (494 mm) do que a média de longo prazo (Tabela 7). O moatize e o Nhamatanda estavam 23 e 45 mm molhados, respectivamente.

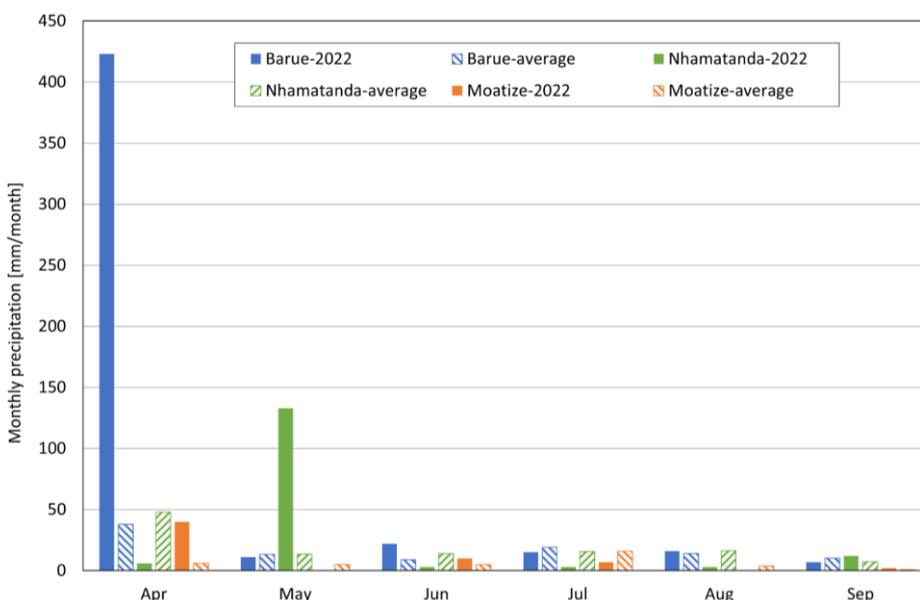


Figura 17. Comparação da precipitação média mensal durante a época de rega de 2022 com a média de longo prazo (2001-2018) derivada do conjunto de dados CHIRPS.

Tabela 7. Precipitação sazonal para Bárue, Moatize e Nhamatanda durante a época de rega de 2022 e média da temporada de irrigação de longo prazo (2001-2018)

Precipitação [mm]	Bárue	Moatize	Nhamatanda
Temporada de irrigação 2022	494	59	160
Média de longo prazo 2001-2018	103	36	115

4 Resultados da produtividade da água à escala de campo

Este capítulo apresenta os resultados da avaliação da produtividade da água à escala de campo. Foram realizadas simulações de modelo AquaCrop para apresentar o desenvolvimento de culturas e gestão agrícola de cada PCP monitorizado ao longo da época de rega de 2022. As decisões de gestão e outros dados de entrada são apresentados no anexo 1 para cada agricultor. Para Bárue, Moatize e Nhamatanda os resultados da produtividade da água são apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10, respectivamente. Nos quadros de resultados, a produtividade da água é normalizada para as condições meteorológicas utilizando a evapotranspiração de referência do Tabela 6 (capítulo 3), e a metodologia tal como descrita na secção 2.8 deste documento.

4.1 Bárue

A curva da copa do PPC Arselio é visualizada na Figura 18 e retrata o desenvolvimento da cobertura da copa de um campo de repolho. Os pontos azuis indicam médias de campo de cobertura de vegetação para diferentes momentos na estação de cultivo e são medidos por sensores voadores e imagens de satélite. A linha de tendência curvilínea equipada entre os pontos azuis indica a curva da copa, que representa o ciclo de crescimento da cultura. O valor máximo da curva foi de aproximadamente 44%, atingindo este valor na primeira metade do mês de agosto. Os valores máximos de cobertura de capota produzidos foram usados para calibrar o modelo AquaCrop para simular a produtividade específica da água em termos de culturas de campo. As curvas das copas dos outros PPCs de Bárue estão incluídas no anexo 2.

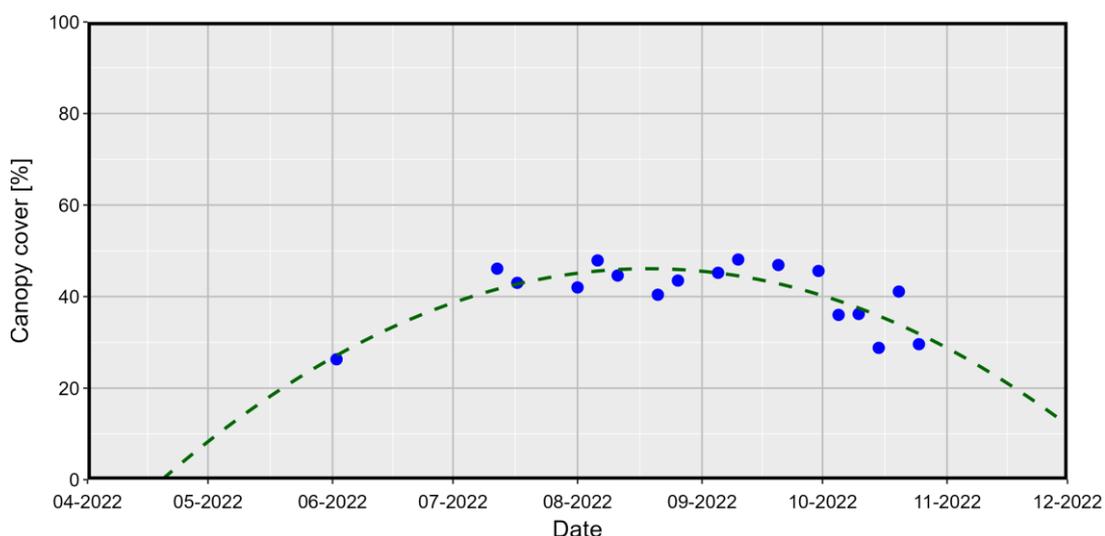


Figura 18. Curva de dossel equipada para PPC Arselio com uma cobertura máxima de vela de aproximadamente 44%.

Os resultados da análise da produtividade da água à escala de campo para os PPCs em Bárue são apresentados no Tabela Tabela 8. Verificou-se que os valores de produtividade da água, normalizados para as condições climáticas locais (Secção 2.8), foram melhorados em todos os campos para todas as culturas em comparação com os valores de base da época de rega. Os valores de produtividade da água normalizados variam entre 0,71 e 3,03 kg/m³. A produtividade média normalizada da água é de 1,66 kg/m³. O aumento percentual da produtividade da água em comparação com a linha de base varia entre +1% e +189%. Em média, a melhoria de todas as culturas foi de +38%. No entanto, os campos de feijão e milho mostram uma melhoria do rendimento seco, no entanto, a alteração exata da

produtividade da água não pode ser determinada devido à ausência de um valor de base para esta cultura. Verificou-se que a produtividade da água da produção de repolho foi melhorada, com uma média menos média de +11%. Registaram-se grandes melhorias nos campos da cebola e do tomate, com melhorias médias na produtividade da água em +123% e +64%, respectivamente. Os campos que não mostraram um desenvolvimento significativo da capota na curva da copa observada foram excluídos da análise, uma vez que a calibração dos parâmetros do modelo para estes valores de cobertura máxima muitas vezes mais baixos resultou numa saída errada do modelo.

Tabela 8. Resultados da produtividade da água aquaCrop, coberturas máximas de copa (CC), rendimento das culturas secas e variação por cento da produtividade da água em comparação com a linha de base (75º percentil) para os agricultores de Bárue

Código PPC	Nome	Tipo de cultura	Obs. max CC	AQ max CC	Produtividade da água [kg/m ³]	Norm. Prod de água [kg/m ³]	% Alterar com baseline*	Rendimento de cultura seca [tonelada/ha]
BA-CN-01-01	Carlos	Feijões	75	74	1.43	1.54	N/A	3.2
BA-JR-01-03	Joelmo	Feijões	77	77	1.49	1.61	N/A	3.3
BA-SE-01-04	Simão	Feijões	52	54	0.66	0.71	N/A	1.6
BA-ZM-01-04	Zacarias	Feijões	74	74	1.42	1.53	N/A	3.2
BA-ACI-01-01	Ananias	Couve	70	69	1.61	1.74	+34%	4.55
BA-ACI-01-02	Ananias	Couve	69	68	1.54	1.66	+28%	4.29
BA-CN-01-04	Carlos	Couve	68	68	1.30	1.40	+8%	4.01
BA-JR-01-01	Joelmo	Couve	66	67	1.27	1.37	+5%	3.94
BA-JR-01-04	Joelmo	Couve	62	62	1.21	1.31	+1%	3.57
BA-RF-01-01	Reunor	Couve	66	74	1.31	1.41	+9%	2.97
BA-RF-01-03	Reunor	Couve	56	60	1.23	1.33	+2%	2.82
BA-SE-01-02	Simão	Couve	75	75	1.32	1.42	+10%	3.56
BA-TV-01-01	Tino	Couve	65	68	1.52	1.41	+8%	4.35
BA-ZM-01-03	Zacarias	Couve	68	70	1.86	1.72	+33%	4.67
BA-CN-01-02	Carlos	Milho	69	70	0.66	0.71	N/A	1.56
BA-SE-01-01	Simão	Milho	71	70	0.66	0.71	N/A	1.56
BA-ZM-01-02	Zacarias	Milho	85	87	2.81	3.03	N/A	9.91
BA-AR-01-05	Arsélio	Cebola	41	40	1.36	1.47	+81%	1.88
BA-LJ-01-04	Lucas	Cebola	51	51	1.57	1.69	+99%	1.65
BA-SE-01-03	Simão	Cebola	70	70	2.66	2.87	+189%	3.11
BA-ACI-01-04	Ananias	Tomate	82	81	2.35	2.53	+62%	8.57
BA-RF-01-02	Reunor	Tomate	65	69	2.44	2.63	+66%	8.24

* Nota: N/A indica quando os valores de base da época de irrigação não estão disponíveis para estes tipos de culturas

Os resultados da produtividade da água são apresentados em mapas de campo na Figura 19. Para cada PCP os valores de produtividade da água são visualizados para os diferentes campos. Os valores de produtividade da água variam de médio (amarelo) a alto (luz a verde escuro).



Figura 19. Mapas de produtividade da água de campo dos agricultores em Bárue para a época de rega de 2022

4.2 Moatize

A curva da capota do campo 4 do PPC Girio está visualizada na Figura 20. Verificou-se que o valor máximo da curva era de aproximadamente 51%. As coberturas máximas de copas produzidas foram utilizadas para calibrar o modelo AquaCrop e determinar a produtividade específica da água no campo. As curvas das capotas dos outros PPCs de Moatize estão incluídas no anexo 2.

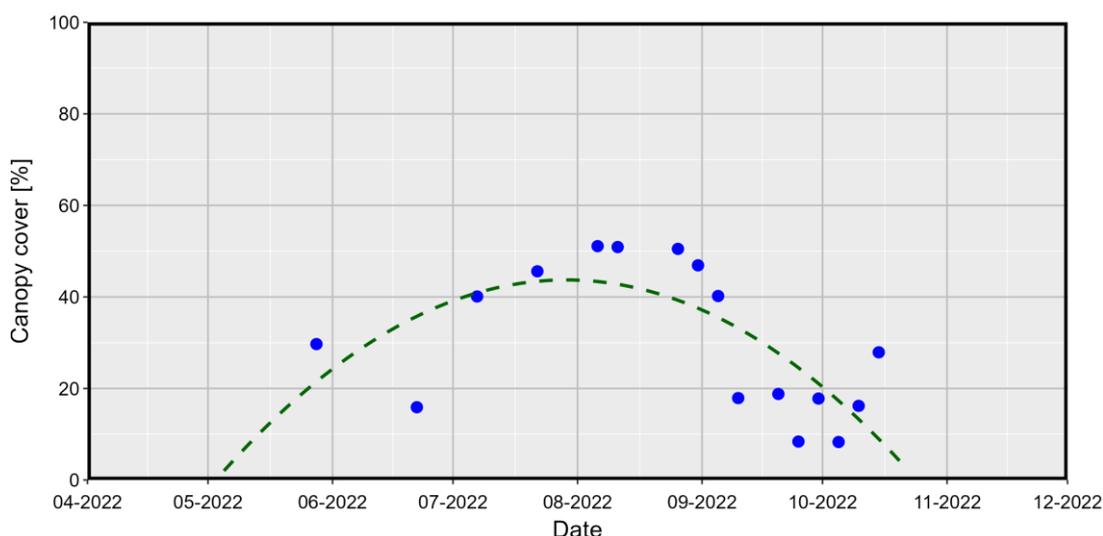


Figura 20. Curva de vela equipada para PPC Girio com uma cobertura máxima de vela de aproximadamente 51%.

Os resultados da análise da produtividade da água à escala de campo para os PPCs em Moatize são apresentados na Tabela 9. Os valores de produtividade da água, normalizados para as condições climáticas locais (Secção 2.8), viram melhorias, mas também diminuíram para alguns campos. Os valores de produtividade da água normalizados entre 0,64 kg/m³ para feijão e 2,68 kg/m³ para o milho. A produtividade média normalizada da água é 1,39 kg/m³. O aumento percentual da produtividade da água em comparação com a linha de base varia entre -17% para um campo de tomate e +246% para um agricultor de cebola. Em média, a melhoria de todas as culturas foi de +19%. Os campos de feijão mostram uma melhoria do rendimento seco, no entanto, a alteração exata da produtividade da água não pode ser determinada devido à ausência de um valor de base para esta cultura. Verificou-se que a produtividade da água da produção de repolho foi a que menos melhorou, com uma média de +11%. Foram encontradas grandes melhorias para o campo de cebola do PPC Girio em +246%. Os campos de tomate foram os que mais se desviavam, onde alguns campos mostraram um declínio e outros melhoraram. No total, verificou-se uma melhoria média de +11% no que diz respeito ao tomate. Os campos que não mostraram um desenvolvimento significativo da capota na curva da copa observada foram excluídos da análise, uma vez que a calibração dos parâmetros do modelo para estes valores de cobertura máxima muitas vezes mais baixos resultou numa saída errada do modelo.

Tabela 9. Resultados da produtividade da água aquaCrop, cobertura supértil máxima (CC), rendimento das culturas secas e variação por cento da produtividade da água em comparação com a linha de base (percentil 75) para os agricultores de Moatize

Código PPC	Nome	Tipo de cultura	Obs. max CC	AQ max CC	Produtividade da água [kg/m ³]	Norm. Prod de água [kg/m ³]	% Alterar com baseline*	Rendimento de cultura seca [tonelada/ha]
SA-CA-01-01	Cezario	Feijões	72	73	0.75	0.78	N/A	1.56
SA-CA-01-02	Cezario	Feijões	64	67	0.88	0.91	N/A	2.07
SA-CA-01-03	Cezario	Feijões	66	67	0.88	0.91	N/A	2.07
SA-ZM-01-01	Zeca	Feijões	72	72	0.73	0.76	N/A	1.49
MA-GM-01-04	Girio	Feijões	50	53	0.62	0.64	N/A	1.3
MA-JC-01-02	Joao	Couve	50	56	1.36	1.41	+9%	3.92
MA-GM-01-02	Girio	Couve	51	56	1.51	1.57	+14%	4.06
MA-GM-01-03	Girio	Cebola	40	40	1.32	1.37	+246%	1.88
SA-MC-01-01	Manuel	Tomate	48	44	1.51	1.57	-17%	2.94

MA-JC-01-01	João	Tomate	56	58	2.58	2.68	+41%	6.31
MA-GM-01-01	Girio	Tomate	54	51	1.71	1.78	-7%	5.28
CA-AS-01-01	Antônio	Tomate	60	60	2.34	2.43	+28%	5.97

* Nota: N/A indica quando os valores de base da época de irrigação não estão disponíveis para estes tipos de culturas

Os mapas do campo da produtividade da água são apresentados na Figura 21. Para cada PCP os valores de produtividade da água são visualizados para os diferentes campos. Os valores de produtividade da água variam de médio (amarelo) a alto (luz a verde escuro).

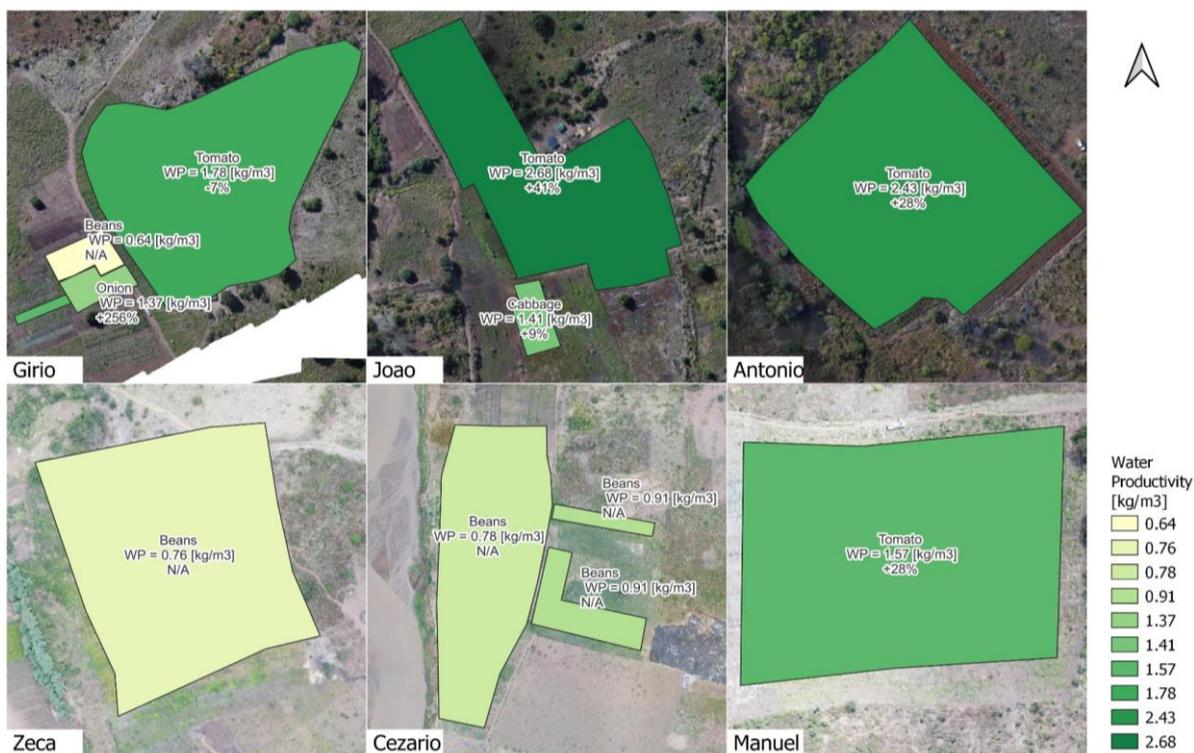


Figura 21. Mapas de produtividade da água de campo dos agricultores em Moatize para a época de rega de 2022

4.3 Nhamatanda

A curva da copa do campo de feijão da Flora PPC é visualizada na Figura 22. O valor máximo da curva foi de 80%. As coberturas máximas de copas produzidas foram utilizadas para calibrar o modelo AquaCrop e determinar a produtividade específica da água no campo. As curvas das capotas dos outros PPCs de Nhamatanda estão incluídas no anexo 2.

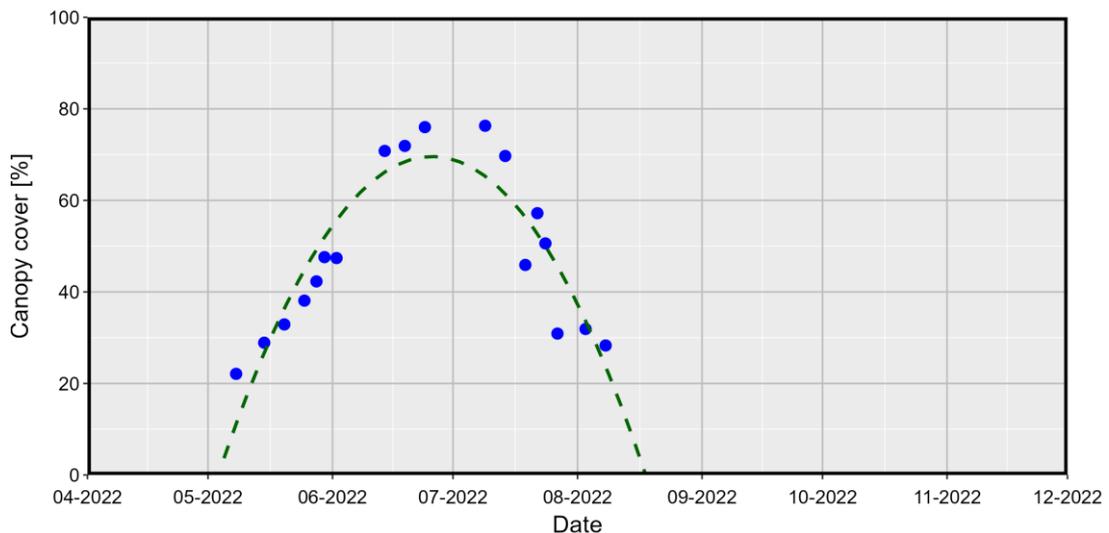


Figura 22. Curva de dossel equipada para A Flora PPC com uma cobertura máxima de vela de aproximadamente 80%.

Os resultados da análise da produtividade da água à escala de campo para os PPCs em Nhamatanda são apresentados no Tabela 10. Verificou-se que os valores de produtividade da água, normalizados para as condições climáticas locais (Secção 2.8), foram melhorados em todos os campos para todas as culturas em comparação com os valores de base da época de rega. Os valores de produtividade da água normalizados variam entre 0.82 kg/m³ para um campo de feijão e 2,59 kg/m³ para um fazendeiro de tomate. A produtividade média normalizada da água é 1.39 kg/m³. O aumento percentual da produtividade da água em comparação com a linha de base varia entre +2% e +241%. Em média, a melhoria para todas as culturas foi de +83%. No entanto, os campos de feijão e milho mostram uma melhoria do rendimento seco, no entanto, a alteração exata da produtividade da água não pode ser determinada devido à ausência de um valor de base para esta cultura. Verificou-se que a produtividade da água da produção de repolho melhorou a média menos de +19%. Foram encontradas grandes melhorias tanto para o campo de cebola do PCP Manuel 1 como para o campo de tomate de José 2, com melhorias na produtividade da água de +241% e +99%, respectivamente. Os campos que não mostraram um desenvolvimento significativo da capota na curva da copa observada foram excluídos da análise, uma vez que a calibração dos parâmetros do modelo para estes valores de cobertura máxima muitas vezes mais baixos resultou numa saída errada do modelo.

Tabela 10. Resultados da produtividade da água aquaCrop, coberturas máximas de copa (CC), rendimento das culturas secas e variação por cento da produtividade da água em comparação com a linha de base (percentil 75) para os agricultores de Nhamatanda

Código PPC	Nome	Tipo de cultura	Obs. max CC	AQ max CC	Produtividade da água [kg/m ³]	Norm. Prod de água [kg/m ³]	% Alterar com baseline*	Rendimento de cultura seca [tonelada/ha]
NH-DP-01-01	Domingos	Feijões	61	61	0.93	0.96	N/A	1.47
NH-MD-01-01	Manuel 2	Feijões	49	50	0.79	0.82	N/A	1.41
NH-LB-01-0	Lucas	Couve	60	60	1.72	1.78	+30%	3.72
NH-DP-01-02	Domingos	Couve	40	58	1.35	1.39	+2%	3.85
NH-MD-01-02	Manuel 2	Couve	55	55	1.41	1.46	+6%	3.62
NH-JD-01-02	José 1	Couve	55	54	1.53	1.58	+15%	3.51
NH-M-01-02	Manuel 1	Couve	50	52	1.51	1.56	+14%	2.98
NH-LB-01-01	Lucas	Milho	58	61	1.11	1.15	N/A	3.07
NH-LB-01-02	Lucas	Milho	66	66	1.16	1.20	N/A	3.32

NH-JD-01-05	José 1	Milho	58	61	1.13	1.17	N/A	3.21
NH-M-01-01	Manuel 1	Cebola	33	32	1.37	1.41	+241%	1.54
NH-JA-01-02	José 2	Tomate	62	64	2.51	2.59	+99%	5.81

* Nota: N/A indica quando os valores de base da época de irrigação não estão disponíveis para estes tipos de culturas

Os mapas do campo da produtividade da água são Figura 23. Para cada PCP os valores de produtividade da água são visualizados para os diferentes campos. Os valores de produtividade da água variam de médio (amarelo) a alto (luz a verde escuro).

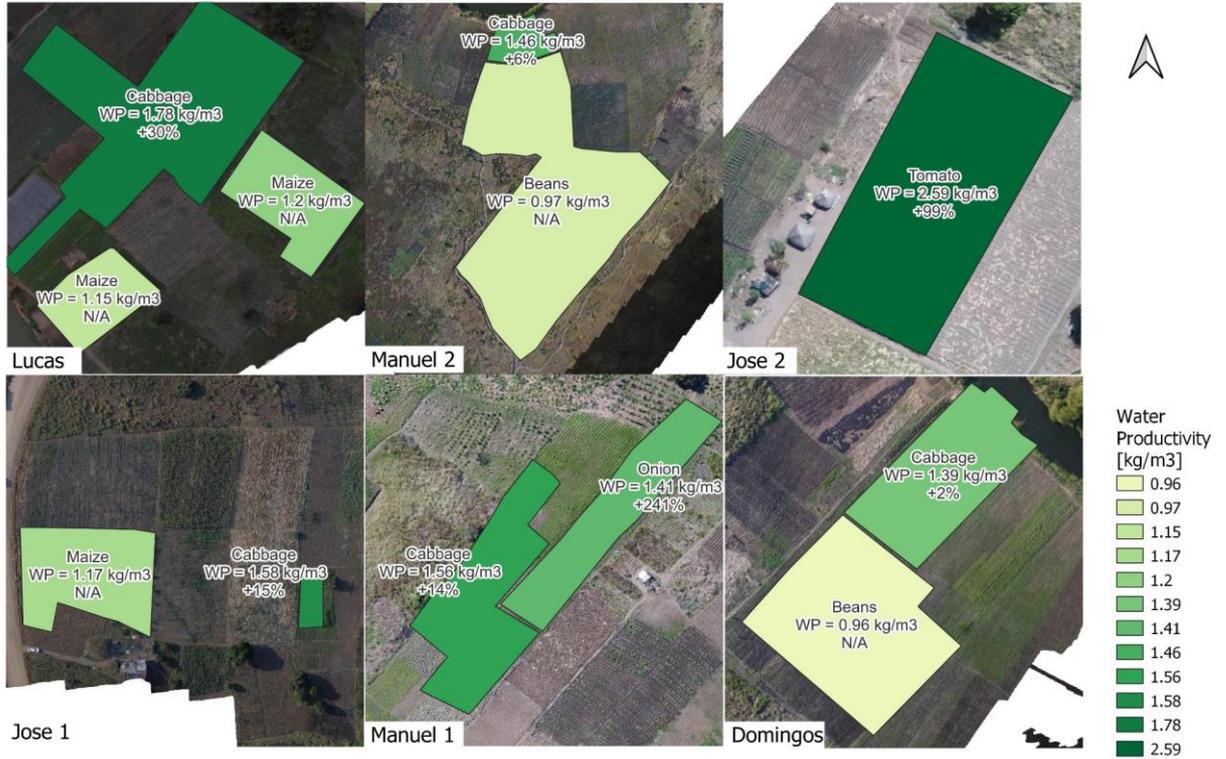


Figura 23. Mapas de produtividade da água de campo dos agricultores em Nhamatanda para a época de rega de 2022

5 Resultados da produtividade da água à escala sub-bacia

A escala da sub-bacia é descrita como o nível entre a escala de campo dos PPCs selecionados e a escala da bacia delineada para cada distrito. A escala da sub-bacia foi determinada como sendo um raio de 300 ha em torno de cada PPC selecionado, conforme descrito na secção 2.1. 3 deste documento e apresentado nas figuras 3, 4 e 5.

Os dados do portal WaPOR foram recuperados para a época de rega dos meses de abril a setembro de 2022. Os produtos de dados descarregados da WaPOR foram a Evapotranspiração Real (em mm) e a Produção Primária Líquida, que foi convertida para A Produção de Biomassa Acima do Solo (em tonelada/ha). Estes produtos de dados foram utilizados para calcular a produtividade da água a biomassa para cada local da sub-bacia.

Os resultados são apresentados na Tabela 11 para cada local. Os valores mais elevados de produtividade da água encontram-se consistentemente em Bárue, devido ao clima favorável nesta região. Aqui os valores mais elevados são observados em Bárue III. Os valores mais baixos para a produtividade da água são encontrados em Moatize para as comunidades mais a jusante. A maior produtividade hídrico do Moatize encontra-se no Moatize III, que está localizado a montante e mais perto das montanhas. Para Nhamatanda, os valores de produtividade da água são semelhantes para ambas as sub-bacias.

Tabela 11. Resultados da produtividade da água da análise das sub-bacias utilizando o portal de dados WaPOR

Distrito	Sub-bacia	Evapo-transpiração real [mm]	Produção de Biomassa [tonelada/ha]	Produtividade da água de biomassa [kg/m ³]
Bárue	Bárue I	349	10	2.84
	Bárue II	322	10	3.05
	Bárue III	336	10	3.11
	Média	336	10	3.00
Moatize	Moatize I	254	5	2.16
	Moatize II	287	7	2.41
	Moatize III	377	11	2.95
	Média	306	8	2.51
Nhamatanda	Nhamatanda I	411	9	2.15
	Nhamatanda II	393	9	2.23
	Média	402	9	2.19

Os mapas dos resultados da produtividade da água sub-bacia são apresentados nas figuras 24, 25, 26 para Bárue, Moatize e Nhamatanda, respectivamente.

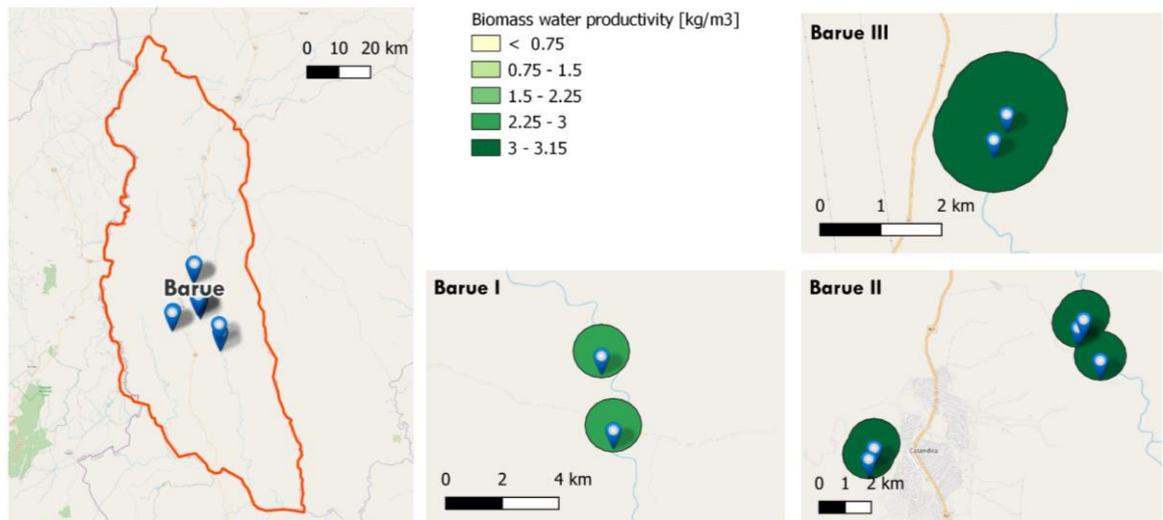


Figura 24. Produtividade da água a biomassa (kg/m³) para sub-bacias em Bárue para a época de irrigação de 2022

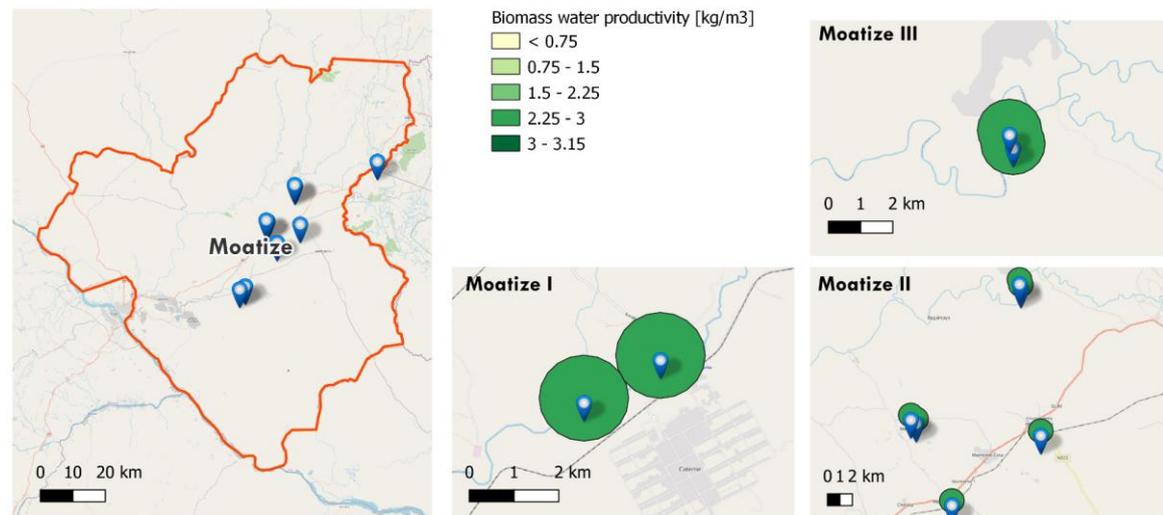


Figura 25. Produtividade da água a biomassa (kg/m³) para sub-bacias em Moatize para a época de rega de 2022

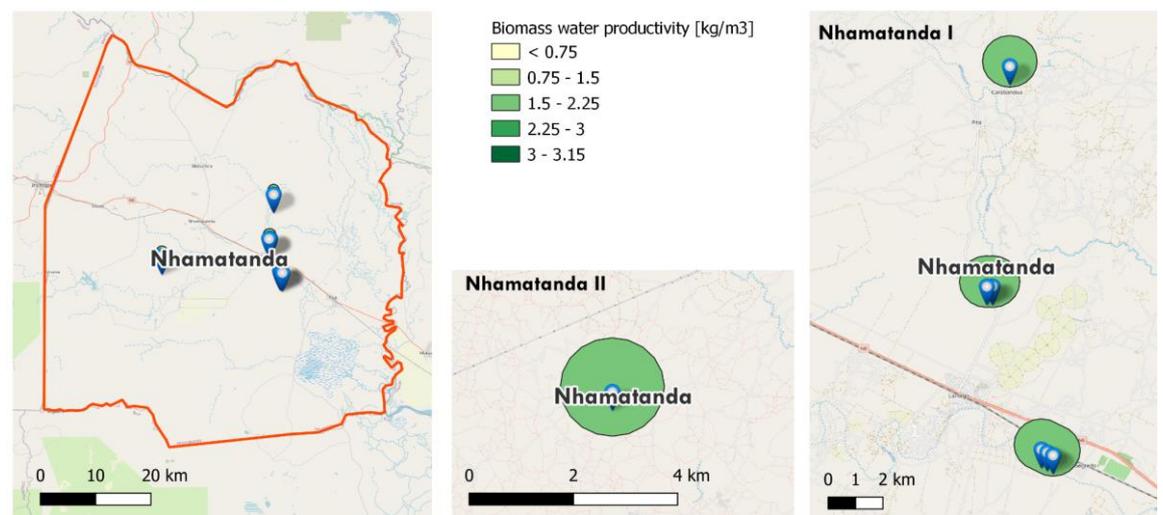


Figura 26. Produtividade da água a biomassa (kg/m³) para sub-bacias em Moatize para a época de rega de 2022

6 Resultados da produtividade da água à escala da bacia

As bacias foram delineadas para cada distrito, como mostra a Figura 6 com base em racionalizações hidrológicas. Estas delimitações foram usadas com o portal de dados WaPOR para determinar a produtividade da água de biomassa para cada local. O Tabela Tabela 12 fornece uma visão geral das estatísticas encontradas para a evapotranspiração real, produção de biomassa e produtividade da água para cada bacia, depois de mascarar apenas os pixels das terras usando a camada de terra fornecida no WaPOR. Bárue exhibe a maior produção de biomassa da área, seguida de Moatize e Nhamatanda. A produtividade da água também foi mais elevada para Bárue, seguida de Moatize, e por último Nhamatanda.

Tabela 12. Panorâmica das estatísticas da evapotranspiração real, produção de biomassa e produtividade da água para as bacias de Bárue, Moatize e Nhamatanda

		Bárue	Moatize	Nhamatanda
Evapotranspiração real [mm]	Média média	394	379	416
	Percentil 10	332	300	364
	Percentil 90	455	460	470
Produção de biomassa [tonelada/ha]	Média média	7.5	6.9	6.4
	Percentil 10	6.0	5.5	5.3
	Percentil 90	9.0	8.5	7.7
Produtividade da água [kg/m ³]	Média média	1.90	1.83	1.54
	Percentil 10	1.75	1.70	1.42
	Percentil 90	2.05	1.98	1.66

Figura 27 exhibe os mapas de produtividade da água de cada bacia. Em Bárue, a produtividade da água a jusante mostra mesmo distribuição, mas uma maior produtividade da água é medida perto da serra, em comparação com o resto do Bárue. No Moatize, a área a montante (nordeste) apresenta valores de produtividade da água mais elevados do que a jusante. Estas áreas também estão mais próximas da cordilheira, o que pode influenciar as condições meteorológicas locais. O número de pixels de cultivo em Nhamatanda é limitado, pelo que se pode observar uma menor variação espacial, mas parece ser uma distribuição uniforme.

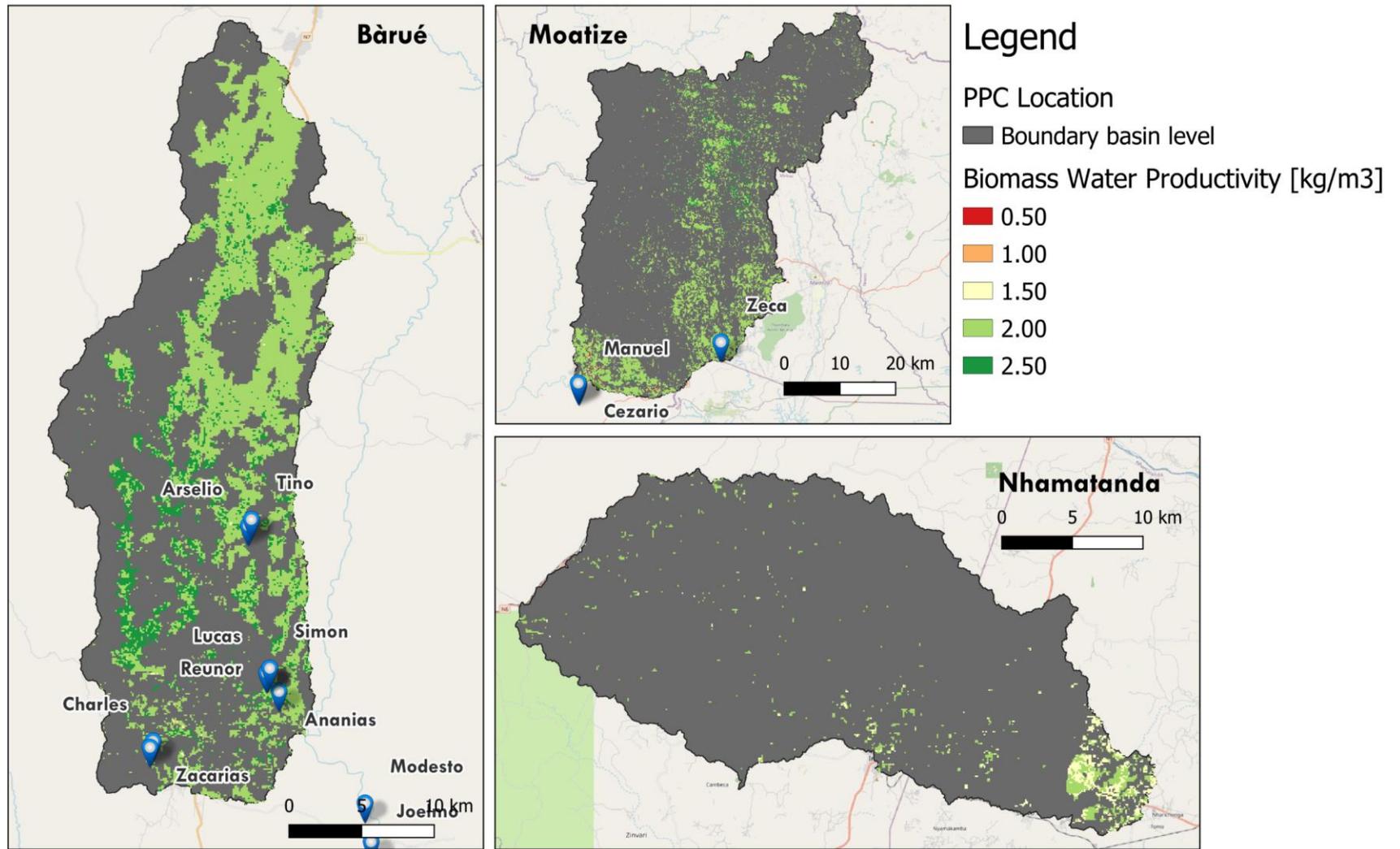


Figura 27. Produtividade sazonal da água de biomassa (kg/m³) à escala de bacia para pixéis de cultivo em Bârué, Moatize e Nhamatanda para a época de irrigação de 2022

7 Avaliação sazonal da produtividade da água

As secções seguintes elaboram sobre a alteração da produtividade da água nas diferentes escalas em comparação com a linha de base; e a mudança na produtividade global da água utilizando a base de dados WaPOR para avaliar uma área maior. As avaliações fazem uso da normalização da produtividade da água para as condições meteorológicas sazonais, como explicado na Secção 2. 8 deste relatório. Assim, as alterações na produtividade da água ligadas ao clima sazonal são minimizadas na avaliação. A avaliação da produtividade da água ao nível do PCP é apresentada seguida da avaliação global da produtividade da água ao nível das sub-bacias ou comunidades e do nível da bacia.

7.1 Escala de campo

O capítulo 4 deste relatório apresenta os resultados da produtividade da água à escala de campo. Uma visão geral desta análise é fornecida no Tabela 13 para cada distrito indicando a mudança geral na produtividade da água. Os valores representam os valores normalizados de produtividade da água das culturas. O aumento global é calculado comparando a média (média) da produtividade normalizada da água, com o percentil 75 da linha de base. O pressuposto é que os PPC são agricultores acima da média (no top 25%) em comparação com os sistemas agrícolas utilizados na avaliação de base, que é explicado no ponto 2.9. ¹A melhoria média global da produtividade da água alcançada à escala de campo dos PPCs é de +49%. O maior aumento foi observado em Nhamatanda e o mais baixo em Moatize. A produtividade específica da água para onion, couve e tomate foi, em média, melhorada em +142%, +14%, e +122% (Tabelas 13, 14 e 15). Em média, a produtividade combinada da água de todas as culturas na época de rega de 2022 melhorou em +49% em comparação com a linha de base.

Tabela 13. Produtividade normalizada da água da cebola (em kg/m³) para a época de irrigação de 2022 em comparação com os valores de base

	Báruè	Moatize	Nhamatanda	No geral
Produtividade da água de base				
Alcance				
75 th Percentil	0.41	0.80	0.41	
Temporada de rega 2022 produtividade da água				
Alcance	1.43 – 2.87			
Média (média)	1.87	1.37	1.41	
Varição relativa com linha de base (%)	+112%	+71%	+245%	+142%

Tabela 14. Produtividade normalizada da água da couve (em kg/m³) para a época de irrigação de 2022 em comparação com os valores de base

	Báruè	Moatize	Nhamatanda	No geral
Produtividade da água de base				
Alcance	1.02 - 1.82	0.81 – 1.54	0.78 – 1.55	
75 th Percentil	1.68	1.34	1.37	
Temporada de rega 2022 produtividade da água				
Alcance	1.27 – 1.74	1.41 – 1.57	1.39 – 1.78	
É média (média)	1.47	1.41	1.55	
Varição relativa com linha de base (%)	+14%	+9%	+19%	+14%

¹ Esta é uma medida utilizada em estatísticas que indicam o valor abaixo do qual uma determinada percentagem de observações num grupo de observações cai. Neste caso, 25% das observações são encontradas acima das 75th percentil.

Tabela 15. Produtividade normalizada da água do tomate (em kg/m³) para a época de rega de 2022 em comparação com os valores de base

	Báruè	Moatize	Nhamatanda	No geral
Produtividade da água de base				
Alcance	0.65 – 1.19	1.50 – 2.25	1.02 – 1.35	
75 th Percentil	1.07	1.95	1.27	
Temporada de rega 2022 produtividade da água				
Alcance	2.53-2.63	1.57 – 2.68		
Média (média)	2.58	2.11	2.53	
Varição relativa com linha de base (%)	+64%	+45%	+229%	+122%

Tabela 16. Avariação o verall na produtividade da água à escala de campo para a época de irrigação de 2022 em comparação com a linha de base para a cebola, couve e tomate ponderado pelo número de parcelas indicadas entre os parênteses

	Báruè	Moatize	Nhamatanda	No geral
Cebola	+112% (2)	+71% (1)	+245% (1)	
Couve	+14% (10)	+9% (2)	+19% (5)	
Tomate	+65% (2)	+45% (4)	+229 (1)	
Alteração geral	+55%	+29%	+63%	+49%

Como esta é a última época de irrigação incluída no projeto APSAN-Vale, este relatório contém uma avaliação global da mudança da produtividade da água ao longo dos quatro anos em que o projeto durou. Estes resultados são retratados na Figura 28, onde os valores na tabela indicam a produtividade média da água da produção de culturas-chave da época de rega (couve, tomate e cebola) naquele distrito. Os valores situados no topo das barras indicam a mudança de percentual a partir da linha de base.

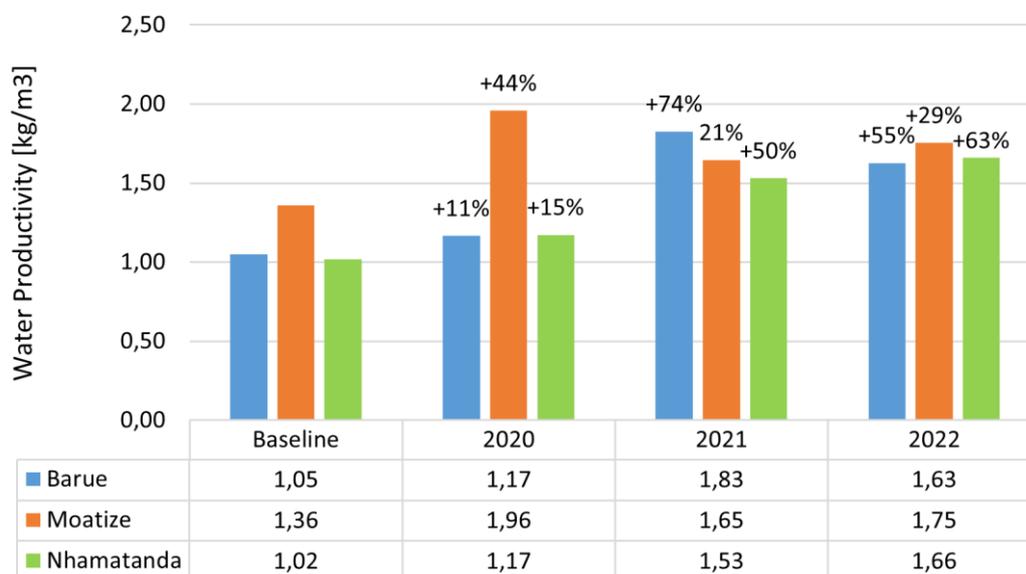


Figura 28. Resumo dos resultados da produtividade da água para as épocas de rega e irrigação de 2020, 2021, 2022 e a avaliação de base.

Globalmente, as melhorias da produtividade da água indicam uma boa realização das metas estabelecidas no Tabela de registos, tal como apresentado na secção 1.3 deste relatório. Todos os distritos viram uma mudança positiva na produtividade da água ao longo dos anos. A produtividade da

água de Bárue, Moatize e Nhamatanda aumentou +55%, +29%, e +63%, respectivamente. As melhorias positivas na produtividade da água não foram lineares e em alguns distritos, os valores da produtividade da água foram mais baixos do que na época de crescimento anterior. Foi também o que aconteceu na época de rega no passado, já que a média dos três distritos diferentes foi apenas 1% maior em relação à época anterior de regadio (2021). Este desvio é provavelmente o resultado de diferentes práticas de gestão agrícola e de uma alteração na análise da produtividade da água, uma vez que a metodologia foi melhorada e o modelo AquaCrop foi avaliado de forma mais rigorosa.

7.2 Escala sub-bacia

A produtividade da água à escala comunitária foi calculada utilizando as áreas de 300 ha que rodeiam os PPCs e os valores de produtividade da água, conforme fornecido no portal de dados wapor. Os valores de base não foram incluídos para este nível espacial no relatório de avaliação de base. Neste caso, os valores de base da bacia foram utilizados para calcular a produtividade normalizada da água.

O Tabela 17 apresenta os resultados da linha de base e comparação com os resultados da época de rega de 2022. O aumento global da produtividade da água foi de +11% para bárue, +4% para o Moatize e +17% para a Nhamatanda. Isto indica que o impacto positivo é alcançado nas áreas circundantes dos PPCs e, em última análise, são adotadas boas práticas para melhorar a produtividade da água. O aumento global da produtividade da água é de +11%, o que é inferior à produtividade da água à escala de campo, devido à escala espacial ser maior. Presume-se que a adoção de boas práticas agrícolas está mais dispersa numa escala espacial em grande escala espacial.

Tabela 17. Produtividade da água a biomassa (kg/m³) para a época de irrigação de 2022 na escala de sub-bacia em comparação com a linha de base de 2015-2020, tal como deriva do portal de dados WaPOR.

	Bárue	Moatize	Nhamatanda	No geral
Média de base 2015 - 2018	1.50	1.48	1.31	
Temporada de irrigação 2022	1.95	1.63	1.42	
Temporada de rega 2022 (normalizada)	1.67	1.54	1.53	
Varição relativa com linha de base (%)	+11%	+4%	+17%	+11%

Para as sub-bacias, foi feita também uma avaliação global da alteração da produtividade da água ao longo dos anos do projeto. Como a época de rega de 2019 incluiu uma análise sub-bacia, apenas os últimos três anos foram incluídos. Estes resultados são representados na Figura 29 onde os valores no Tabela indicam a produtividade da água da correspondente época de rega naquele distrito. Os valores situados no topo das barras indicam a mudança de percentual a partir da linha de base.

Bárue e Nhamatanda registaram uma mudança positiva na produtividade da água ao longo dos anos. No Moatize, a produtividade da água foi inferior à linha de base na maioria dos anos, mas há uma tendência ascendente a nível de 2020. Em 2022, o aumento da produtividade da água foi menor do que em 2021. Olhando para os três anos, as melhorias positivas na produtividade da água não foram lineares e, em alguns casos, o aumento da produtividade da água foi inferior ao da época de crescimento anterior, em comparação com a linha de base. Requer uma investigação mais aprofundada para determinar a magnitude do vinco em comparação com a linha de base, mas a diminuição em relação ao ano anterior está relacionada com as intervenções no terreno e a adoção pela comunidade e/ou métodos de análise ligeiramente alterados.

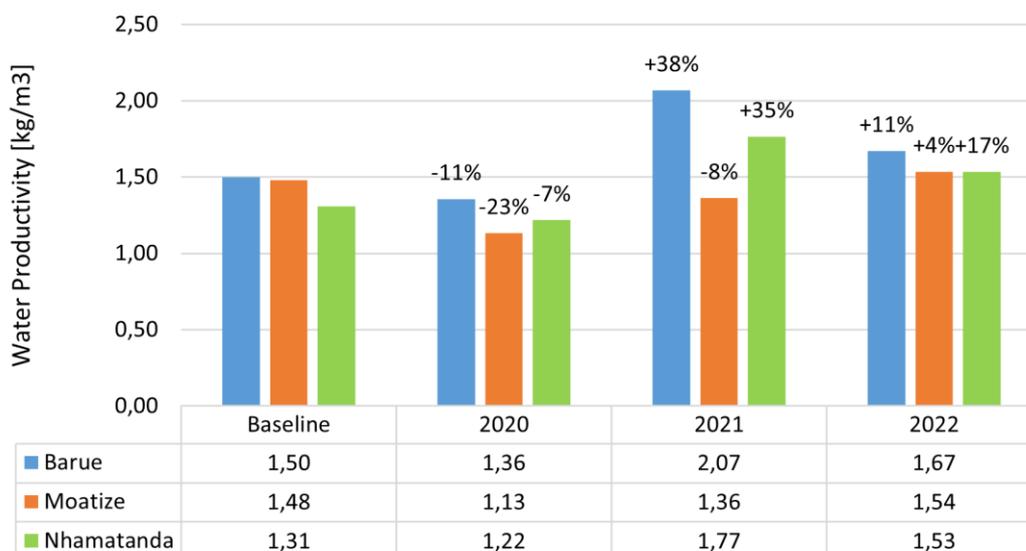


Figura 29. Visão geral dos resultados da produtividade da água para a escala da sub-bacia

7.3 Escala de bacia

A avaliação da produtividade da água à escala da bacia foi efetuada utilizando os resultados do WaPOR do capítulo 6. Estes indicam os valores de produtividade da água para os pixéis das terras de cultivo nas bacias selecionadas do projeto para a época de rega. O Tabela 18 apresenta os valores da produtividade da água a biomassa após a normalização para as condições meteorológicas de 2022 e comparando com os valores de base. Percebido um aumento médio da produtividade da água a biomassa de +34%, que variava entre +27% e +44% para os diferentes distritos.

Tabela 18. Produtividade da água de biomassa (kg/m³) para a época de irrigação de 2022 à escala da bacia em comparação com a linha de base

	Báruè	Moatize	Nhamatanda	No geral
Média de base 2001-2018	1. 50	1. 48	1. 31	
Temporada de irrigação 2022	1. 90	1. 83	1. 54	
Temporada de rega 2022 (normalizada)	1. 91	2. 13	1. 72	
Varição relativa com linha de base (%)	+27%	+44%	+31%	+34%

Por último, uma avaliação global da alteração da produtividade da água realizada para as análises das bacias. Os resultados são retratados na Figura 30 onde os valores no Tabela indicam a produtividade da água da correspondente época de rega naquele distrito. Os valores localizados no topo das barras indicam a variação do percentual em comparação com a linha de base.

Todos os distritos viram uma mudança positiva na produtividade da água ao longo dos anos. A produtividade da água de Báruè aumentou +27%, o moatize melhorou +44% e a Nhamatanda aumentou +31%. O anterior relatório da época de rega (2021) indicava um aumento global da produtividade da água em biomassa de +6¹2%, indicando que a época de irrigação de 2022 teve um menor aumento da produtividade da água à escala da bacia em comparação com o ano anterior.

¹ Van Opstal, J.D., M. de Klerk, V. Hollander. 2021. Análise da Produtividade da Água: Temporada de Irrigação 2021. Relatório FutureWater 236.

As melhorias positivas na produtividade da água não foram lineares e, em alguns casos, os valores da produtividade da água foram inferiores à época de crescimento anterior. Este desvio é provavelmente o resultado de diferentes práticas de gestão agrícola.

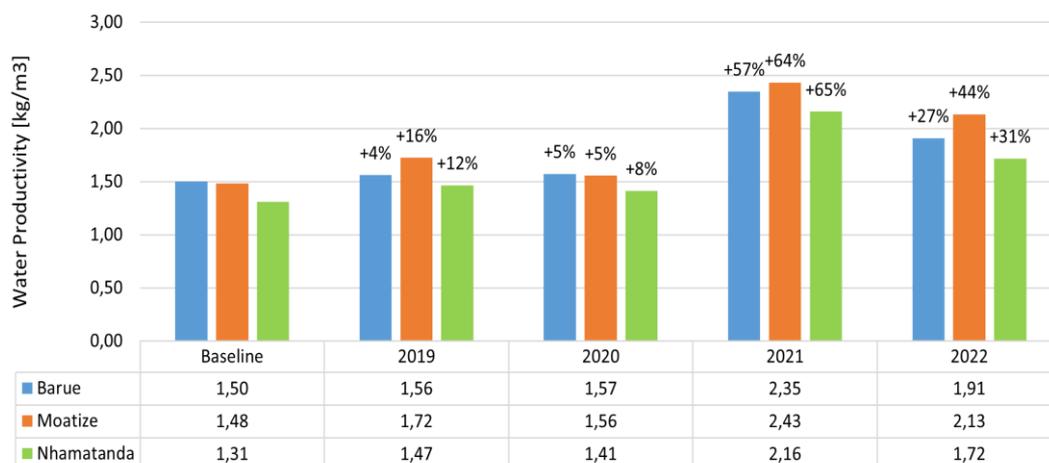


Figura 30. Visão geral dos resultados da produtividade da água para a escala da bacia

8 Observações finais

Para a época de rega principais, foram encontradas melhorias na produtividade da água à escala de campo de +55%, +29%, e +63% para Báruè, Moatize e Nhamatanda, respectivamente, resultando numa melhoria média de +49%. Esta média global atinge a meta definida para 2022 de +25% tal como indicado no diário de bordo do projeto, no entanto, é apenas 1% superior à época anterior de regadio (2021) devido a uma metodologia melhorada e a um julgamento mais rigoroso nas decisões de modelização. Os resultados da produtividade da água no terreno dão uma boa indicação das tendências na alta e baixa produtividade da água.

Além disso, a produtividade da água foi calculada à escala das sub-bacias, o que representa a comunidade de agricultores que adotam práticas que estão a ser demonstradas e promovidas pelos PPC selecionados. Uma área de 300 ha em torno de cada PPC selecionado é determinada como representativa da área da sub-bacia (ou comunidade). Na escala da sub-bacia, a análise da produtividade da água faz uso do portal de dados WaPOR e calcula a produtividade da água de biomassa. Os valores mais elevados de produtividade da água foram encontrados em Báruè. Here os valores mais elevados são observados em Báruè III a 3,11 kg/m³. Verificou-se que a produtividade da água a biomassa variava entre 2,84 e 3,11 kg/m³ em Báruè, 2,16 a 2,95 kg/m³ em Moatize, e 2,15 a 2,23 kg/m³ em Nhamatanda. A variação relativa da produtividade da água em relação aos valores de base é de +11%, +4% e +17% para Báruè, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. O aumento global da produtividade da água estimado a nível da sub-bacia (comunidade) é de +11%. O aumento global da época de rega em 2021 foi de 33%, indicando uma alteração na partilha de práticas de gestão agrícola entre os agricultores em 2022. O objetivo para a época de irrigação de 2022 de +25% do aumento da produtividade da água em biomassa definido no início do projeto não foi cumprido. Ao longo de todo o projeto, percebeu-se um aumento da produtividade da água à escala da bacia, mas as melhorias positivas não foram lineares. Requer uma investigação mais aprofundada para determinar a magnitude do vinco em comparação com a linha de base, mas a diminuição em relação ao ano anterior está relacionada com as intervenções no terreno e a adoção pela comunidade e/ou métodos de análise ligeiramente alterados.

À escala da bacia, a delimitação de bacias de cada distrito foi utilizada como limite da bacia. A produtividade da água foi determinada utilizando o portal de dados WaPOR que fornece valores sobre a produtividade da água a biomassa. Estes valores são comparados com a avaliação de base e determinados que foi alcançado um aumento da produtividade da água de +27%, +44%, e +31% para Báruè, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. O aumento médio da produtividade da água em biomassa foi de +34% para todos os distritos juntos. Esta média global atinge a meta definida para 2022 de +25% de aumento da produtividade da água em biomassa para a escala da bacia, conforme indicado no logframe do projeto. No entanto, na época de rega de 2021 o aumento global da produtividade da água em biomassa foi de +62%. A época de rega de 2022 teve um menor aumento da produtividade da água à escala da bacia em comparação com o ano anterior, mas quando se olha para todas as estações de irrigação, há uma tendência ascendente no aumento da produtividade da água em biomassa. As melhorias positivas na produtividade da água não foram lineares e, em alguns casos, os valores da produtividade da água foram inferiores à época de crescimento anterior. Este desvio é provavelmente o resultado de diferentes práticas de gestão agrícola.

Por último, nota-se que o aumento da produtividade da água em escala de campo foi semelhante à época de rega do ano passado (49% vs 48%), enquanto na sub-bacia (11% vs 33%) e na escala da bacia (34% vs 62%) o aumento da produtividade da água foi menor em comparação com o ano passado. Dado que os agricultores da APSAN-Vale tiveram um aumento da produtividade da água à escala de campo semelhante, mas os resultados, incluindo os agricultores não-APSAN-Vale (ou seja, na escala das sub-bacias e bacias) foram inferiores ao ano passado, o seu pode indicar que os agricultores da

APSAN-Vale são mais resistentes aos desafios climáticos que influenciam as suas colheitas do que os agricultores não-APSAN-Vale.

Todos os resultados serão combinados com os dados de monitorização dos parceiros do consórcio APSAN-Vale, indicando a adoção de práticas destes agricultores e as sessões de formação que estiveram presentes, no último "Relatório de Impacto da APSAN-Vale".

Anexo 1 - Visão geral dos dados de entrada

Tabela 19. Dados de entrada de campo para Bárue

Year	Irrigation / rainfed	Region	ID plot	Name farmer	Soil		Crop				Field mgt						
					Soil texture (sandy/loam, etc)	Stoniness (low, moderate, high)	Crop type (EN)	Crop type (PT)	Planting date	Harvest date (optional) Data de Colheita	Planting density [plants/m ²]	Fertilizer use (low, moderate, optimal)	Mulching yes/no	Weed mgt (low, moderate, high)	Runoff mgt (yes/no)	Irrigation (yes/no)	Irrigation method
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_ACI-01-01	Ananias Chicumba	sandy clay	low	cabbage	couve	5-Jun-2022	28-sep	50x65	optimal	no	high	yes	yes	sprinkler
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_ACI-01-02	Ananias Chicumba	sandy clay	low	cabbage	repolho	30-May-2022	12-okt	60x70	optimal	no	high	yes	yes	sprinkler
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_ACI-01-03	Ananias Chicumba	sandy clay	low	tsunga	tsunga	17-Jul-2022	6-okt	45x50	optimal	no	high	yes	yes	sprinkler
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_ACI-01-04	Ananias Chicumba	sandy clay	low	tomato	tomate	22-May-2022	27-sep	60x70	optimal	no	high	yes	yes	sprinkler
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_AR-01-01	Arselio Robat	sandy clay	low	tsunga	tsunga	28-May-2022	15-sep	45x50	optimal	yes	high	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_AR-01-02	Arselio Robat	sandy clay	low	cabbage	repolho	28-May-2022	12-okt	60x70	optimal	yes	high	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_AR-01-03	Arselio Robat	sandy clay	low	maize	milho	20-May-2022	4-okt	80x50	optimal	yes	high	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_AR-01-04	Arselio Robat	sandy clay	low	tomato	tomate	19-Jun-2022	14-okt	60x70	optimal	yes	high	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_AR-01-05	Arselio Robat	sandy clay	low	onion	cebola	4-Jul-2022	24-okt	20x20	optimal	yes	high	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_CN-01-01	Charles Nhamassi	sandy clay	low	beans	feijao	27-Jul-2022	2-nov	50x10	optimal	yes	moderate	yes	tes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_CN-01-02	Charles Nhamassi	sandy clay	low	maize	milho	16-Jul-2022	20-nov	80x50	optimal	yes	moderate	yes	tes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_CN-01-03	Charles Nhamassi	sandy clay	low	lettuce	alface	20-Jun-2022	23-aug	60x20	optimal	yes	moderate	yes	tes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_CN-01-04	Charles Nhamassi	sandy clay	low	cabbage	couve	22-Jun-2022	3-okt	50x65	optimal	yes	moderate	yes	tes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_JR-01-01	Joelmo da Rosa	sandy clay	low	cabbage	couve	17-Jul-2022	28-okt	50x65	moderate	yes	low	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_JR-01-02	Joelmo da Rosa	sandy clay	low	tsunga	tsunga	24-Jul-2022	5-okt	45x50	moderate	yes	low	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_JR-01-03	Joelmo da Rosa	sandy clay	low	beans	feijao	19-Jul-2022	4-nov	50x10	moderate	yes	low	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_JR-01-04	Joelmo da Rosa	sandy clay	low	cabbage	repolho	17-Jul-2022	24-okt	60x70	moderate	yes	low	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_LJ-01-01	Lucas Jossefa	sandy clay	low	carrot	cenoura	4-Jul-2022	23-nov	5x5	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_LJ-01-02	Lucas Jossefa	sandy clay	low	cabbgae	couve	12-Jul-2022	8-okt	50x65	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_LJ-01-03	Lucas Jossefa	sandy clay	low	lettuce	alface	17-Jul-2022	16-sep	60x20	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_LJ-01-04	Lucas Jossefa	sandy clay	low	onion	cebola	28-Jul-2022	26-nov	20x20	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_MD-01-01	Modesto Dique	sandy clay	low	beans	feijao	29-Aug-2022	Not harvest	50x10	optimal	no	high	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_RF-01-01	Reunor Finiasse	sandy clay	low	cabbage	repolho	14-Jul-2022	27-okt	60x70	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_RF-01-02	Reunor Finiasse	sandy clay	low	tomato	tomate	22-Jul-2022	29-okt	60x70	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_RF-01-03	Reunor Finiasse	sandy clay	low	cabbage	couve	14-Jul-2022	11-okt	50x65	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_RF-01-04	Reunor Finiasse	sandy clay	low	onion	cebola	29-May-2022	24-okt	20x20	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_RF-01-05	Reunor Finiasse	sandy clay	low	carrot	cenoura	15-Jun-2022	4-okt	5x5	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_RF-01-06	Reunor Finiasse	sandy clay	low	tsunga	tsunga	1-Jun-2022	23-sep	45x50	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_SE-01-01	Simon Eduardo	sandy clay	low	maize	couve	2-Aug-2022	22-okt	50x65	optimal	no	high	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_SE-01-02	Simon Eduardo	sandy clay	low	cabbage	repolho	1-Aug-2022	30-okt	60x70	optimal	no	high	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_SE-01-03	Simon Eduardo	sandy clay	low	onion	cebola	25-Jul-2022	Not harvest	20x20	optimal	no	high	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_SE-01-04	Simon Eduardo	sandy clay	low	beans	feijao	28-Jul-2022	Not harvest	50x10	optimal	no	high	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_TV-01-01	Tino Vasco	sandy clay	low	cabbage	repolho	6-Jun-2022	23-okt	60x70	moderate	no	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_ZM-01-01	Zacarias Manuel	sandy clay	low	ginger	gengibre	13-Apr-2022	Not harvest	30x50	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_ZM-01-02	Zacarias Manuel	sandy clay	low	maize	milho	19-Jul-2022	14-nov	80x50	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_ZM-01-03	Zacarias Manuel	sandy clay	low	cabbage	repolho	3-May-2022	15-sep	60x70	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface
2022	Irrigation	Barue	AP_BA_ZM-01-04	Zacarias Manuel	sandy clay	low	beans	feijao	4-May-2022	21-sep	50x10	optimal	yes	moderate	yes	yes	surface

Tabela 20. Dados de entrada de campo para Moatize

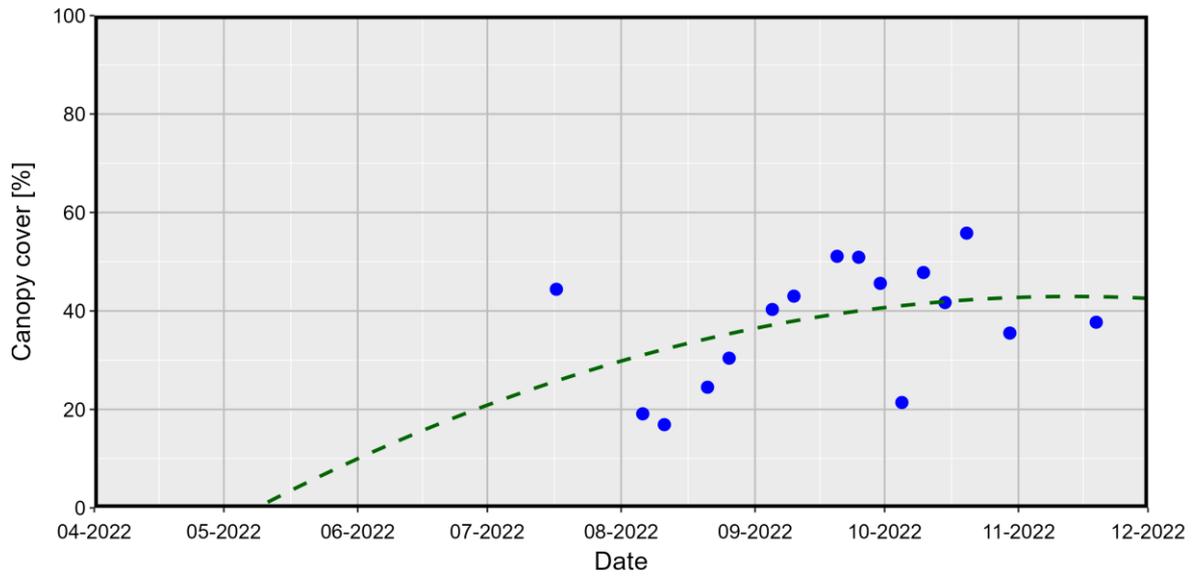
Year	Irrigation / rainfed	Region	ID plot	Name farmer	Soil texture (sandy/loam, etc)	Stoniness (low, moderate, high)	Crop type (EN)	Planting date	Harvest date (optional) Data de Colheita	Planting density [plants/m ²]	Fertilizer use (low, moderate, optimal)	Mulching yes/no	Weed mgt (low, moderate, high)	Runoff mgt (yes/no)	Irrigation (yes/no)	Irrigation method
2022	Irrigation	Moatize	MO-SA-MC-01-02	Manuel Changamica	sandy clay	low	Cabbage	2-jul	14-okt	70x60	Optimal	no	Low	no	Yes	Sprinklers
2022	Irrigation	Moatize	MO-SA-MC-01-01	Manuel Changamica	sandy clay	low	Tomato	20-jun	24-sep	85x60	Optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-SA-CA-01-01	Cezario Muazanane	sandy clay	low	Beans	5-apr	13-aug	90x40	Optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-SA-ZM-01-01	Zeca Marcelino	sandy clay	low	Beans	12-mei	17-sep	90x40	Optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-MA-JC-01-01	Joao Cherene	sandy clay	Moderate	Tomato	25-mei	28-aug	85x60	optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-MA-JC-01-02	Joao Cherene	sandy clay	Moderate	Cabbage	1-jun	19-sep	70x60	optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-MA-JC-01-03	Joao Cherene	sandy clay	Moderate	Beans	28-jun	18-okt	90x40	optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-MA-GM-01-01	Girio Mussanaruca	sandy clay	low	Tomato	16-jun	10-okt	85x60	Optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-MA-GM-01-02	Girio Mussanaruca	sandy clay	low	Cabbage	28-mei	30-sep	70x60	Optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-MA-GM-01-03	Girio Mussanaruca	sandy clay	low	Onion	16-mei	3-aug	20x15	Optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-MA-GM-01-04	Girio Mussanaruca	sandy clay	low	Beans	17-jun	12-okt	90x40	Optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-MA-JC-01-01	Jose Cinto	sandy clay	Moderate	Tomato	10-mei	19-sep	90x40	Optimal	no	Moderate	no	Yes	Gravity
2022	Rainfed	Moatize	MO-CA-AS-01-01	Antonio Sopinho	sandy clay	Low	Tomato	15-apr	2-aug	85x60	optimal	no	Low	no	Yes	Gravity
2022	Irrigation	Moatize	MO-CA-XT-01-01	Xavier Tomas	sandy clay	Moderate	Beans	13-mei	12-sep	90x50	optimal	no	Low	no	Yes	Sprinklers
2022	Irrigation	Moatize	MO-CA-XT-01-02	Xavier Tomas	sandy clay	Moderate	Cabbage	22-mei	26-sep	70x60	optimal	no	Low	no	Yes	Sprinklers
2022	Irrigation	Moatize	MO-CA-MC-01-01	Mario Chauque	sandy clay	Moderate	Potatoes	24-mei	28-sep	70x60	optimal	no	Low	no	Yes	Sprinklers

Tabela 21. Dados de campo de entrada para Nhamatanda

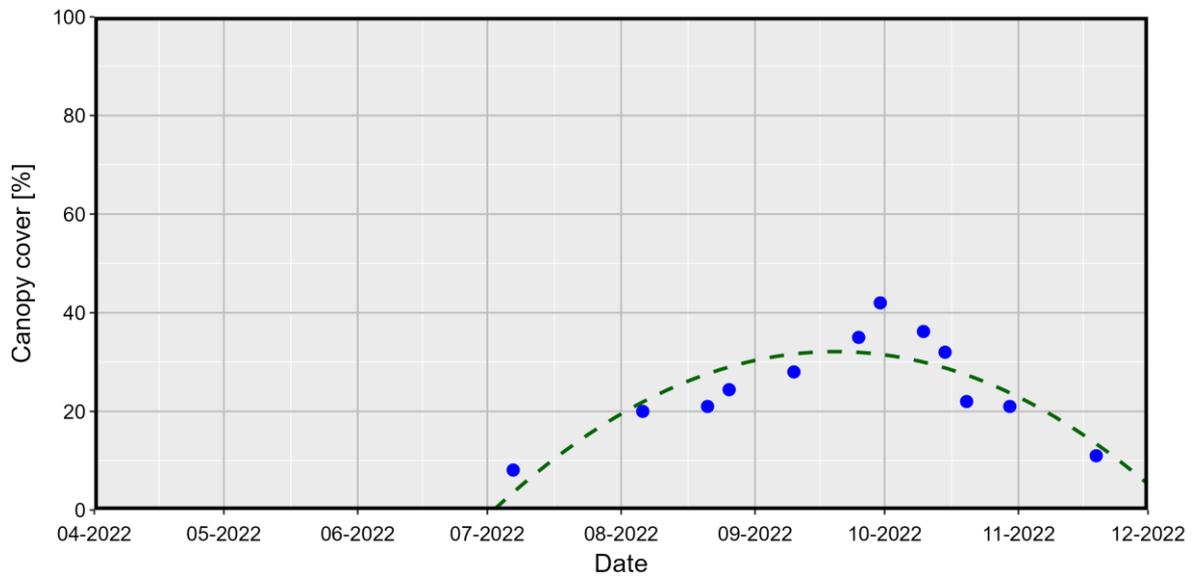
Year	Irrigation / rainfed	Region	ID plot	Name farmer	Soil texture (sandy loam, etc)	Stoniness (low, moderate, high)	Crop type (EN)	Planting date	Harvest date (optional)	Planting density [plants/m ²]	Fertilizer use (low, moderate, optimal)	Weed mgt (low, moderate, high)	Runoff mgt (yes/no)	Irrigation (yes/no)	Irrigation method
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_JA_01	Jose Anderson	sandy clay	Low	Tomato	2-jul	5-okt	85x60	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_FM_01	Flora Mustico	sandy clay	Low	Beans	10-mei	18-sep	85x60	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_LB_01	Lucas Bernardo	sandy clay	Low	Cabbage	10-mei	3-okt	50x50	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_LB_01	Lucas Bernardo	sandy clay	Low	Maize	6-jun	11-okt	80x50	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_DP_01	Domingos Pedro	sandy clay	Low	Beans	26-mei	1-okt	85x60	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_DP_01	Domingos Pedro	sandy clay	Low	Cabbage	14-jun	9-okt	50x50	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_MD_01	Manuel Dique	sandy clay	Low	Beans	18-apr	9-sep	85x60	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_MD_01	Manuel Dique	sandy clay	Low	Cabbage	17-jun	28-sep	50x50	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_JD_01	Jose Domingos	sandy clay	Low	Maize	7-mrt	12-okt	80x50	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_JD_01	Jose Domingos	sandy clay	Low	Cabbage	15-mei	19-aug	50x50	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_M_01	Manuel	sandy clay	Low	Onion	28-mei	16-sep	20x15	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_M_01	Manuel	sandy clay	Low	Cabbage	22-mei	27-aug	50x50	Optimal	Low	no	yes	Gravety
2022	Irrigated	Nhamatanda	AP_NH_M_01	Manuel	sandy clay	Low	Beans	2-jun	5-okt	85x60	Optimal	Low	no	yes	Gravety

Anexo 2 - Curvas da cobertura do dossel

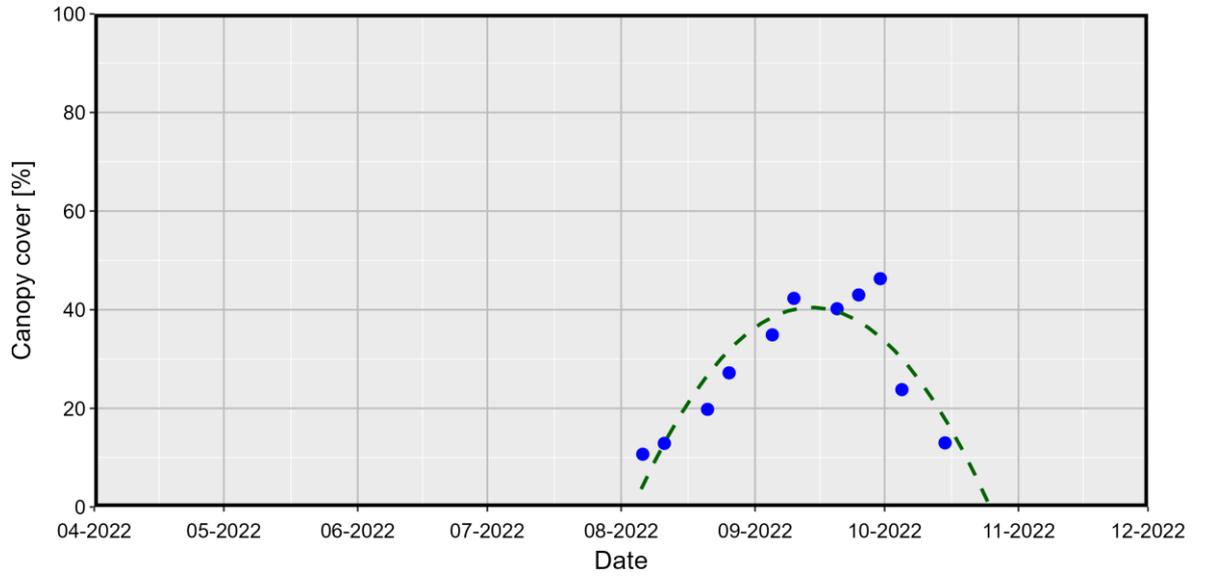
BA-CN-01-01



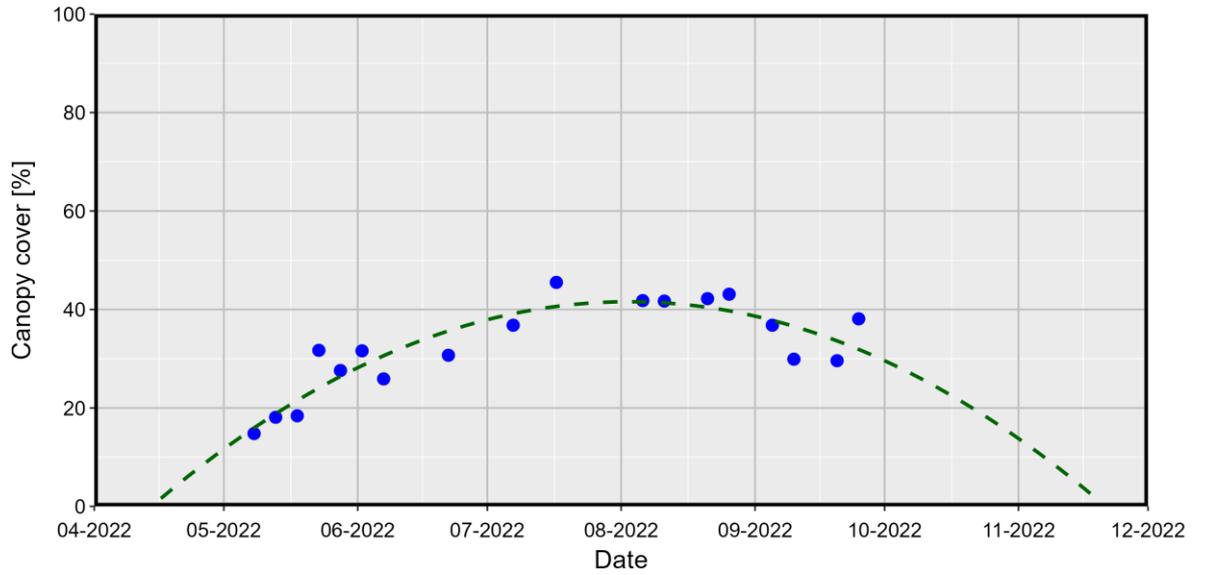
BA-HR-01-03



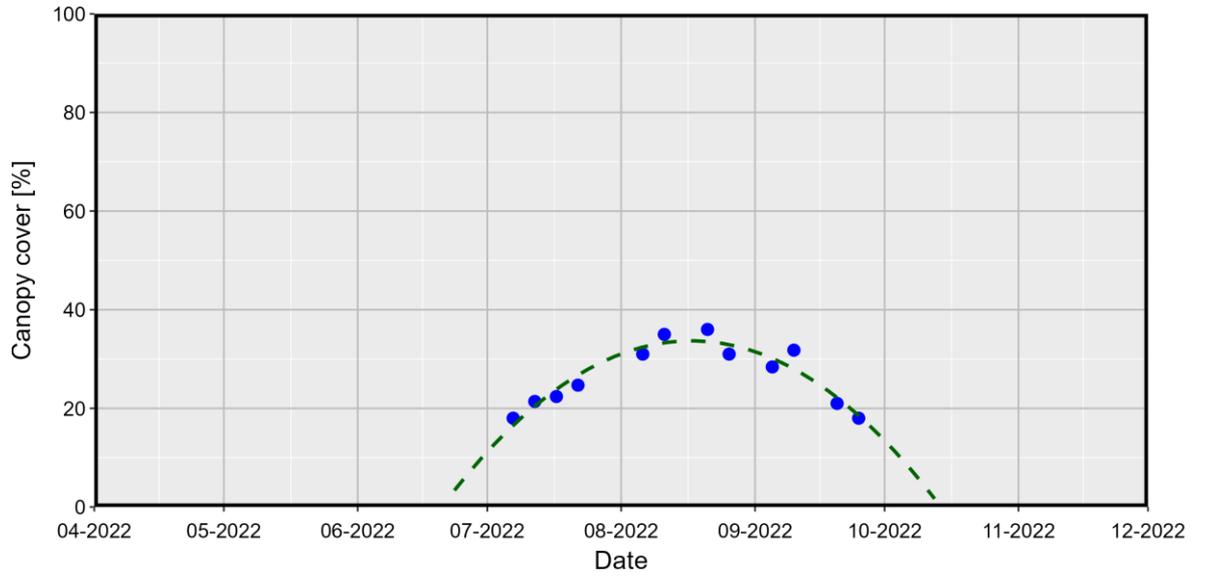
BA-SE-01-04



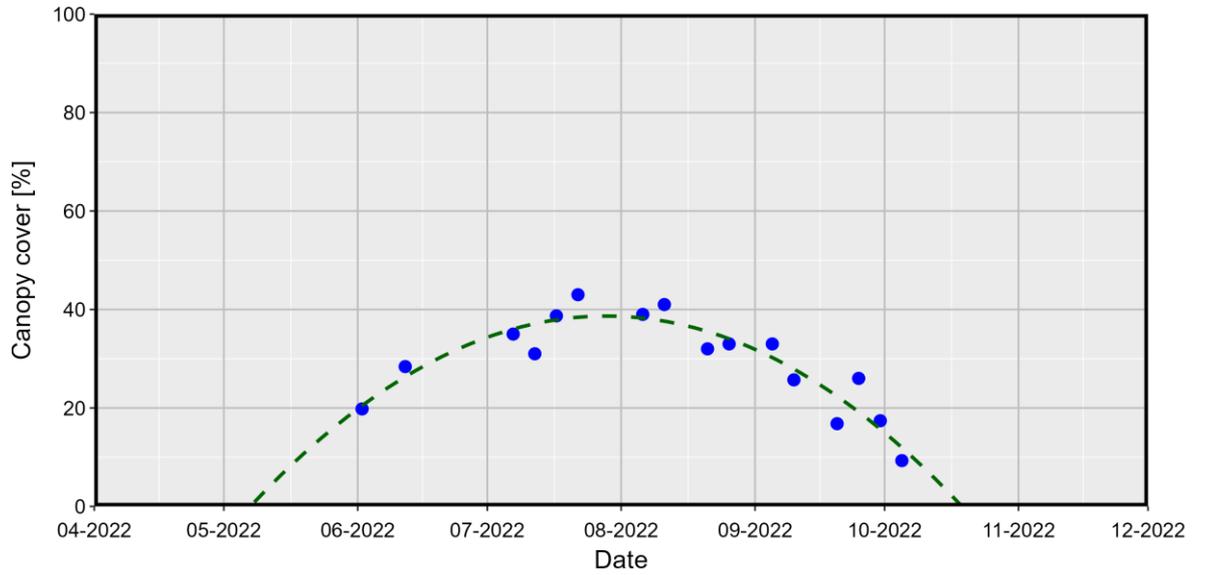
BA-ZM-01-04



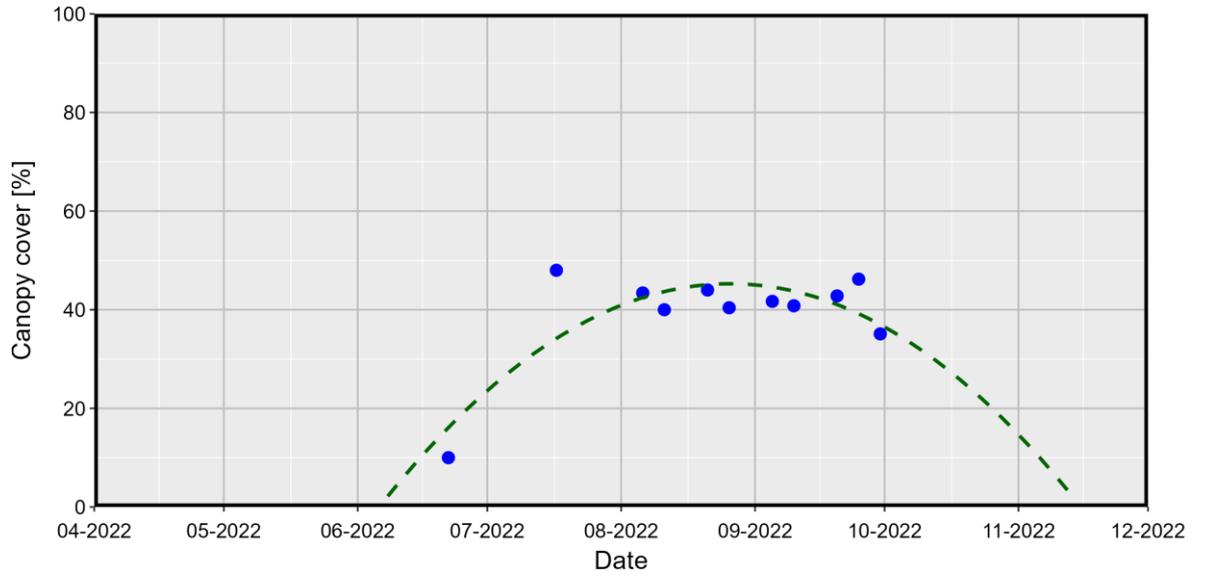
BA-ACI-01-01



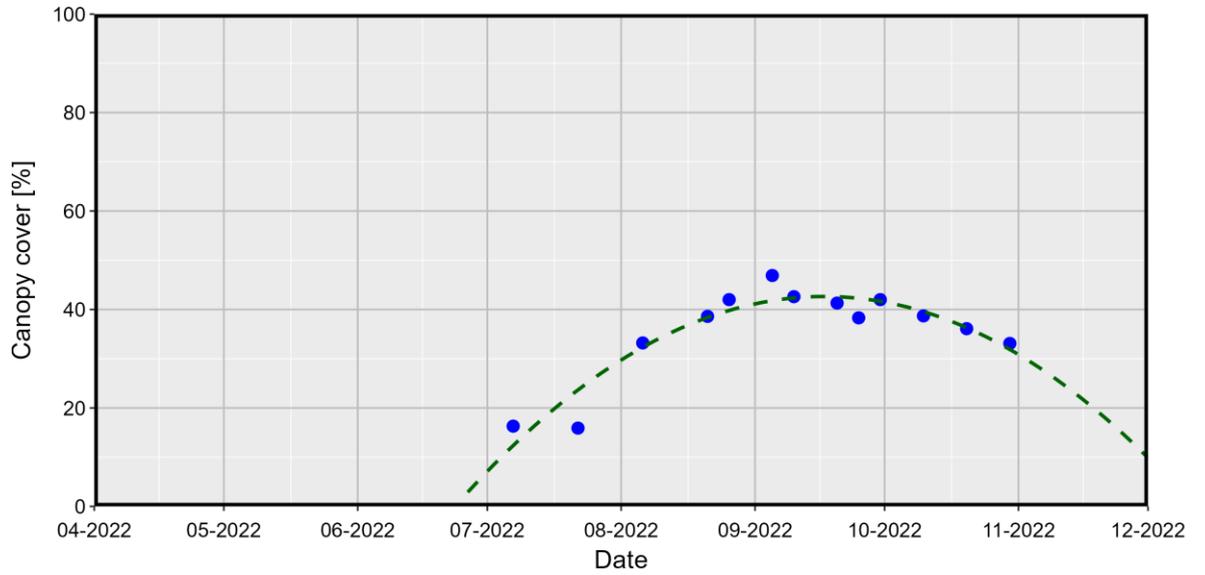
BA-ACI-01-02



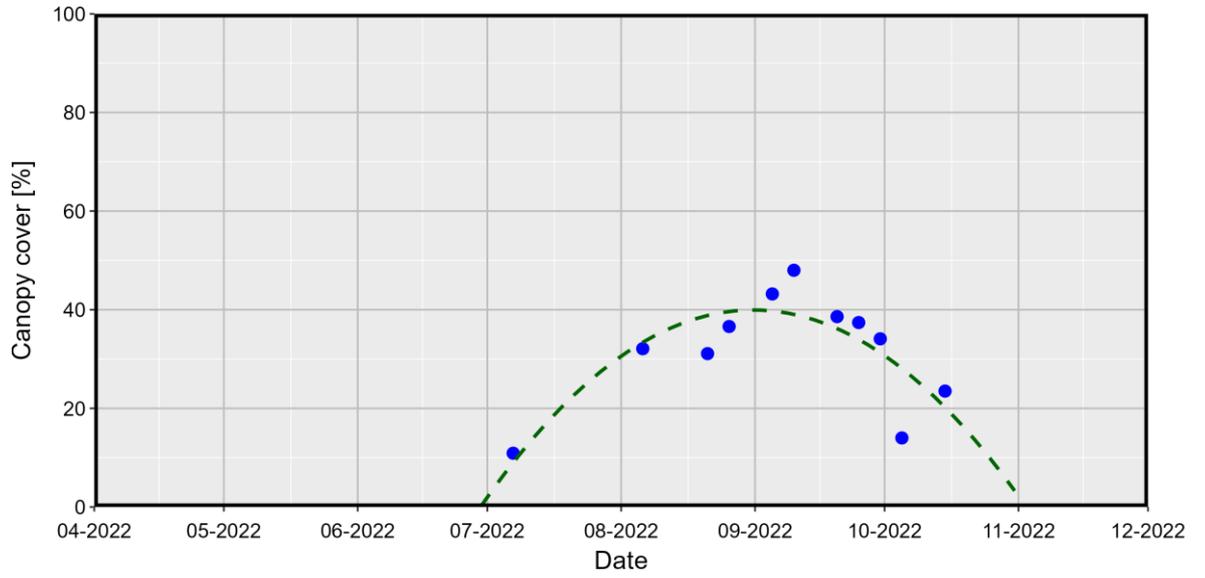
BA-CN-01-04



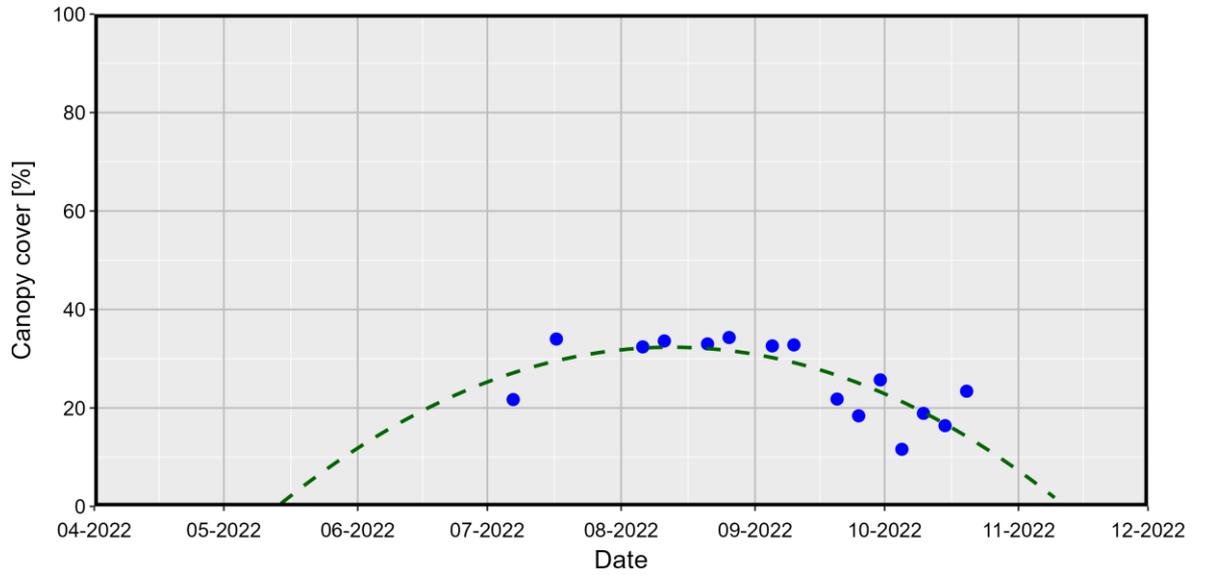
BA-JR-01-01



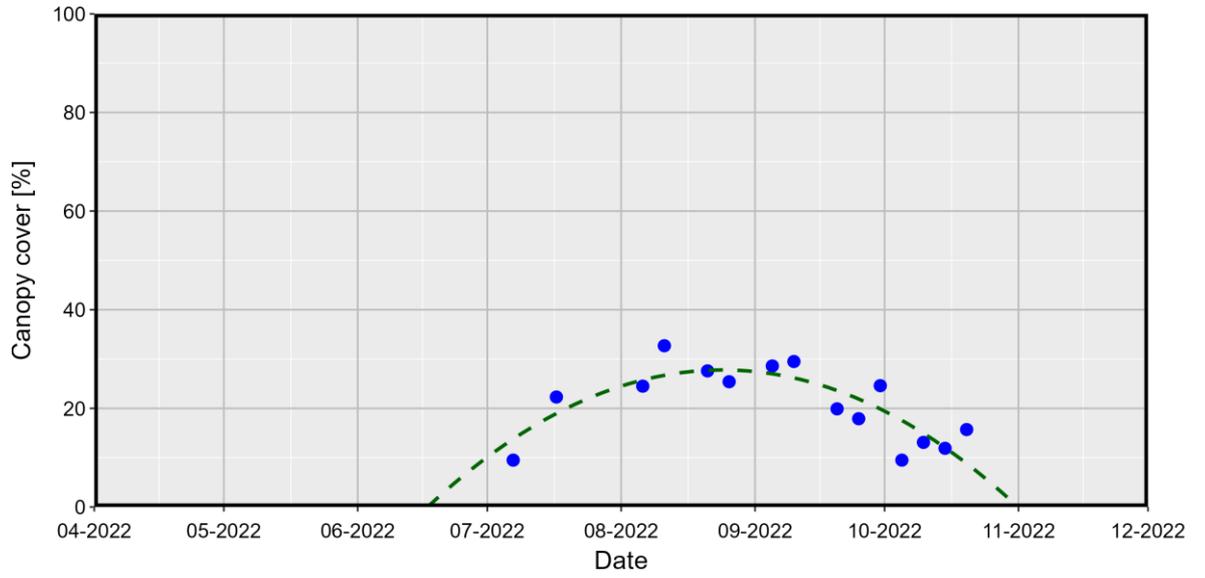
BA-JR-01-04



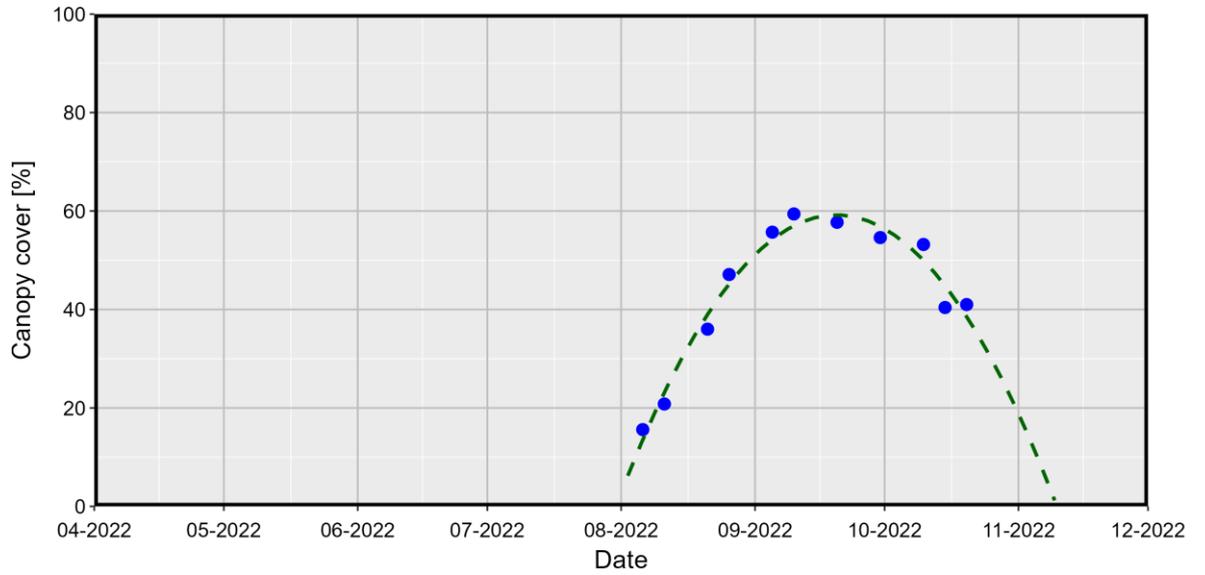
BA-RF-01-01



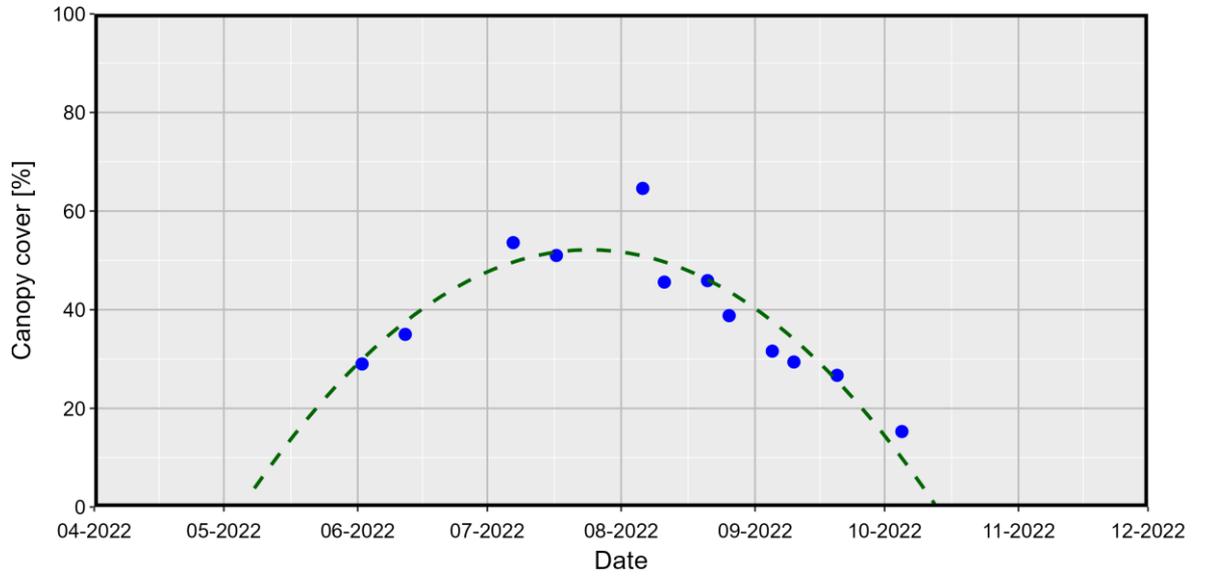
BA-RF-01-03



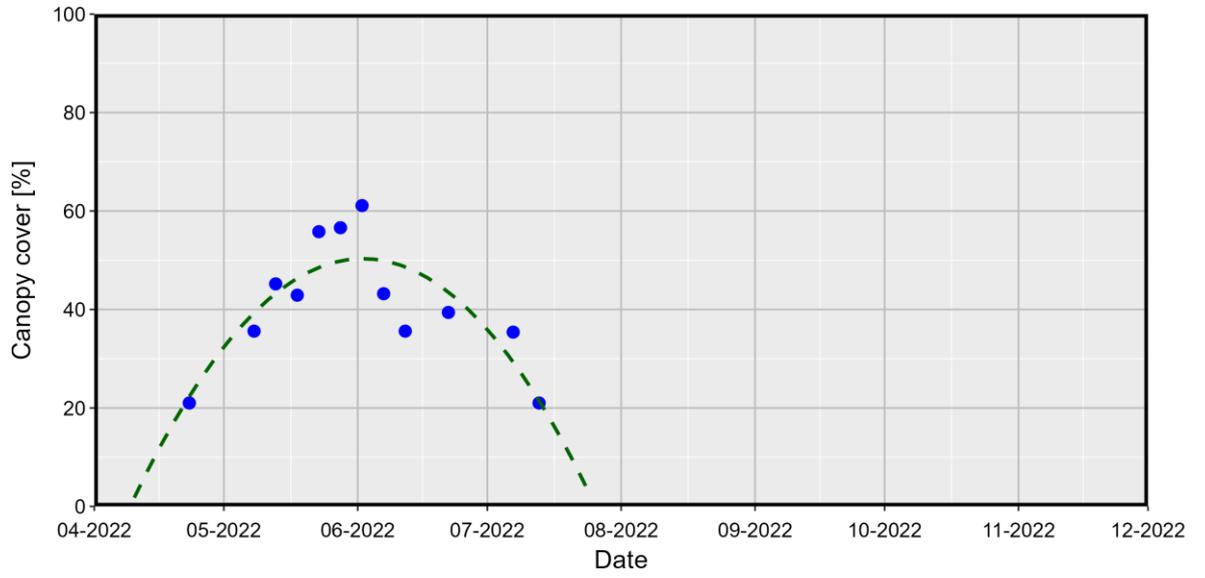
BA-SE-01-02



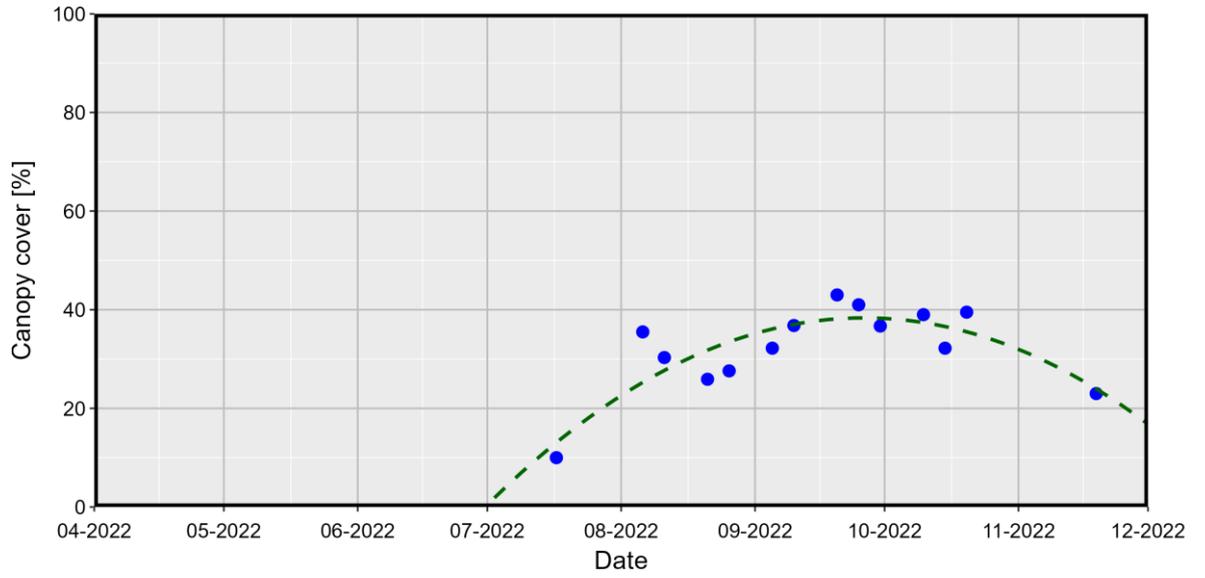
BA-TV-01-01



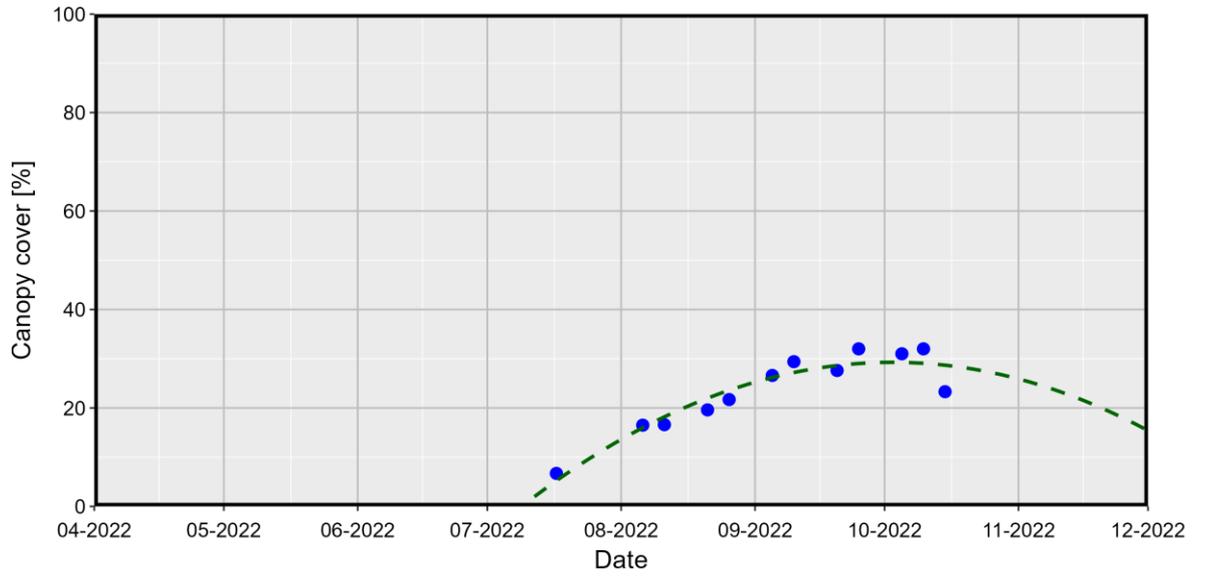
BA-ZM-01-03



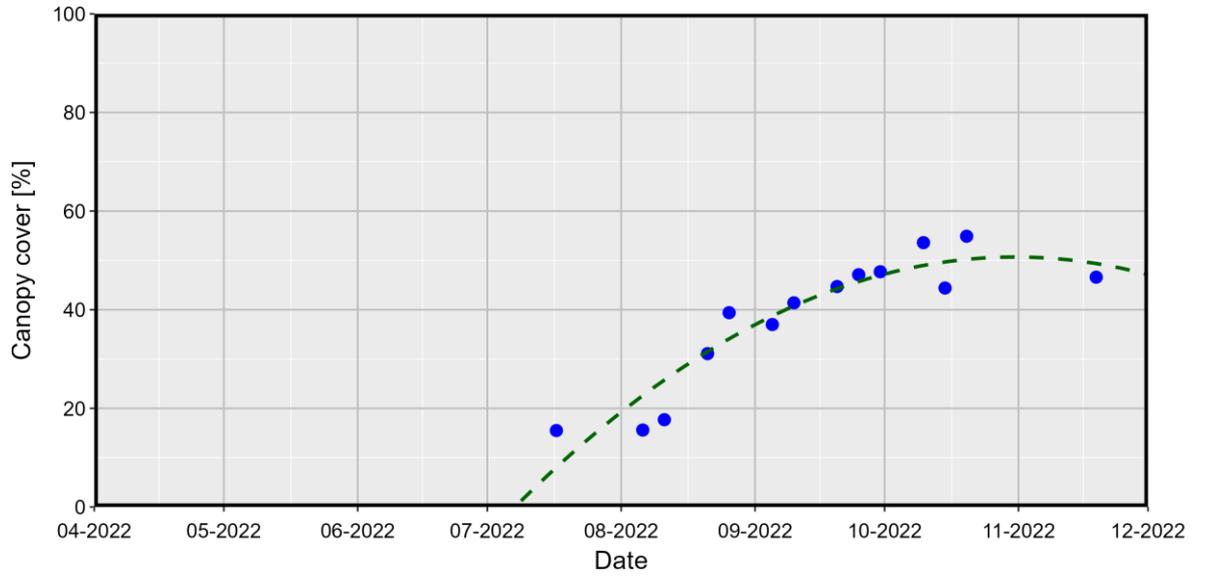
BA-CN-01-02



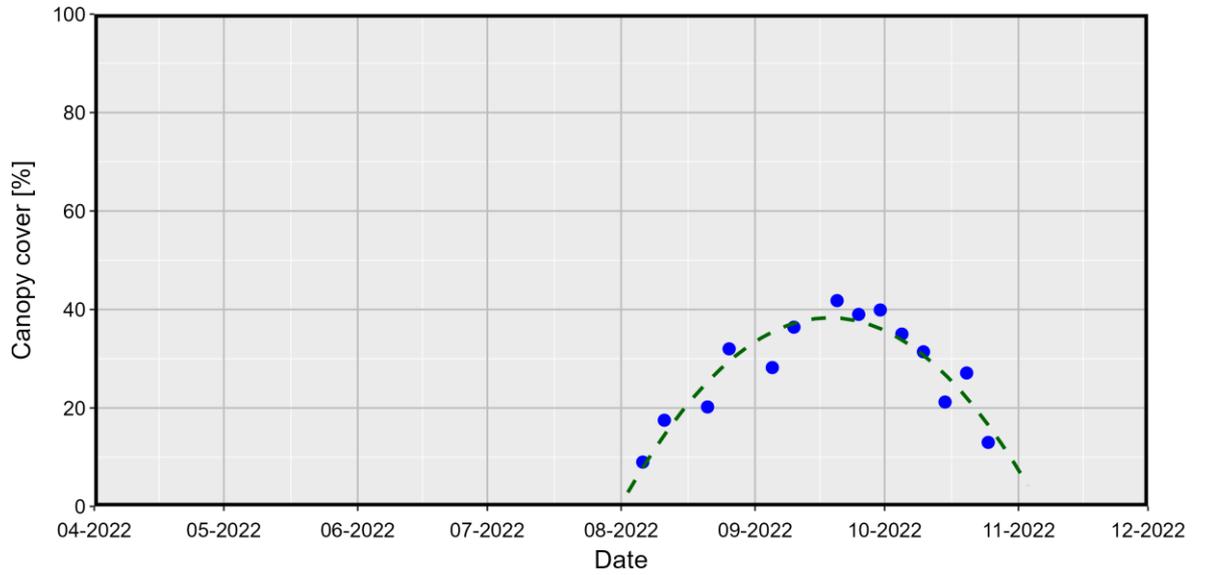
BA-SE-01-01



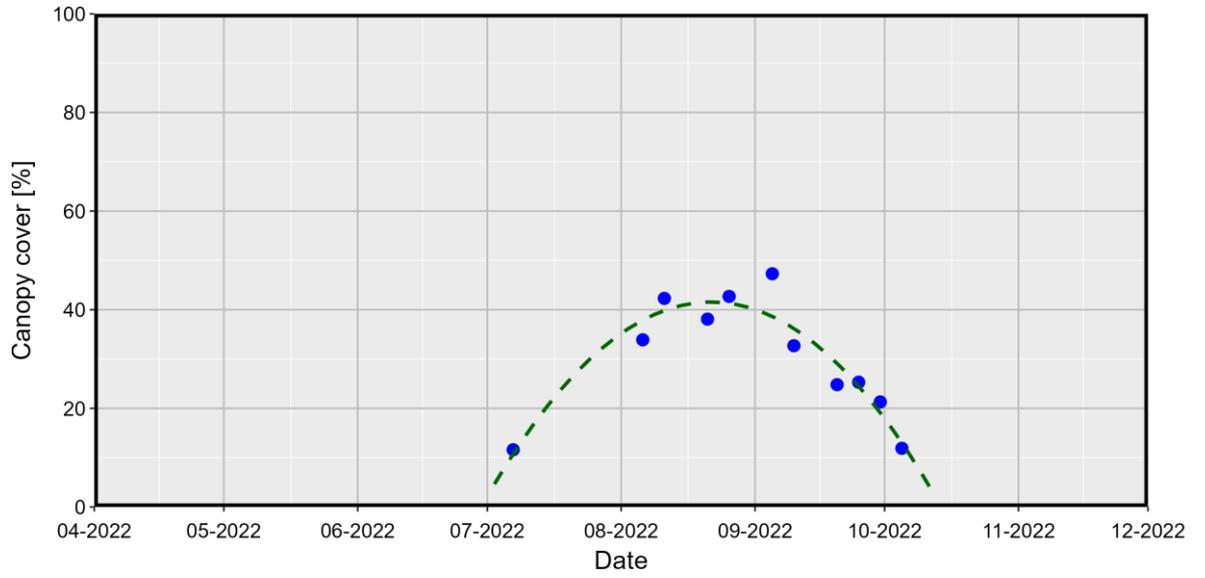
BA-ZM-01-02



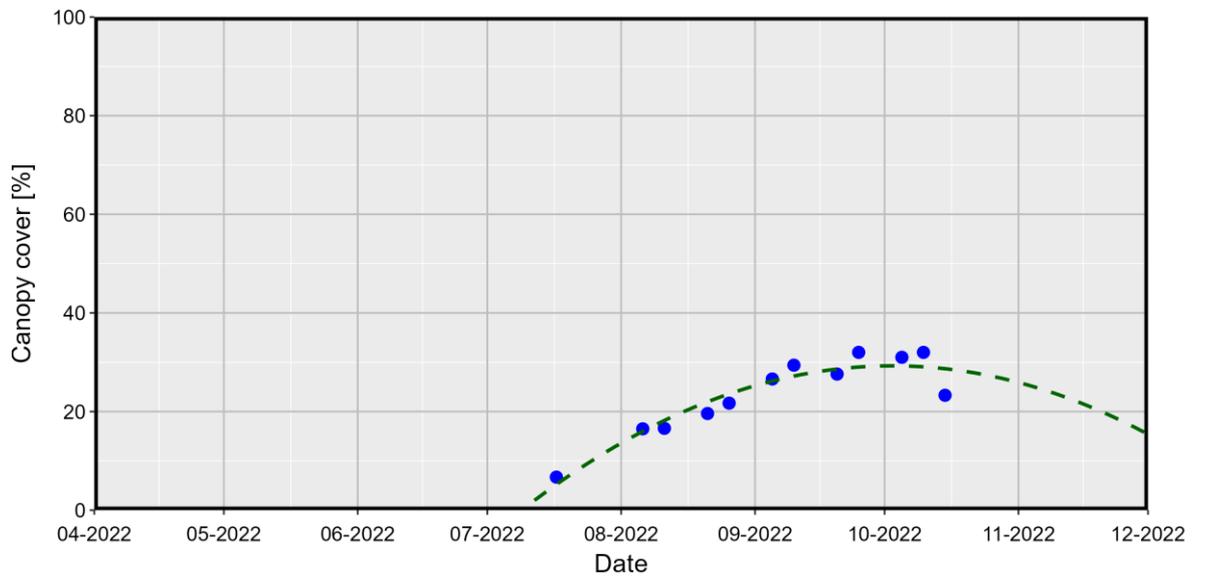
BA-AR-01-05



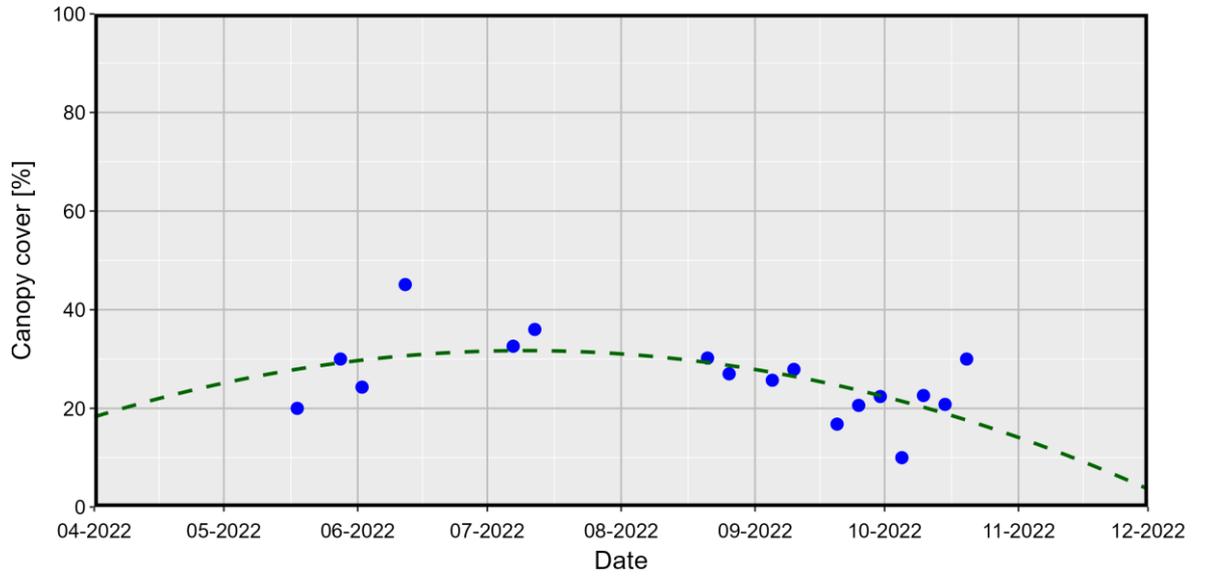
BA-LJ-01-04



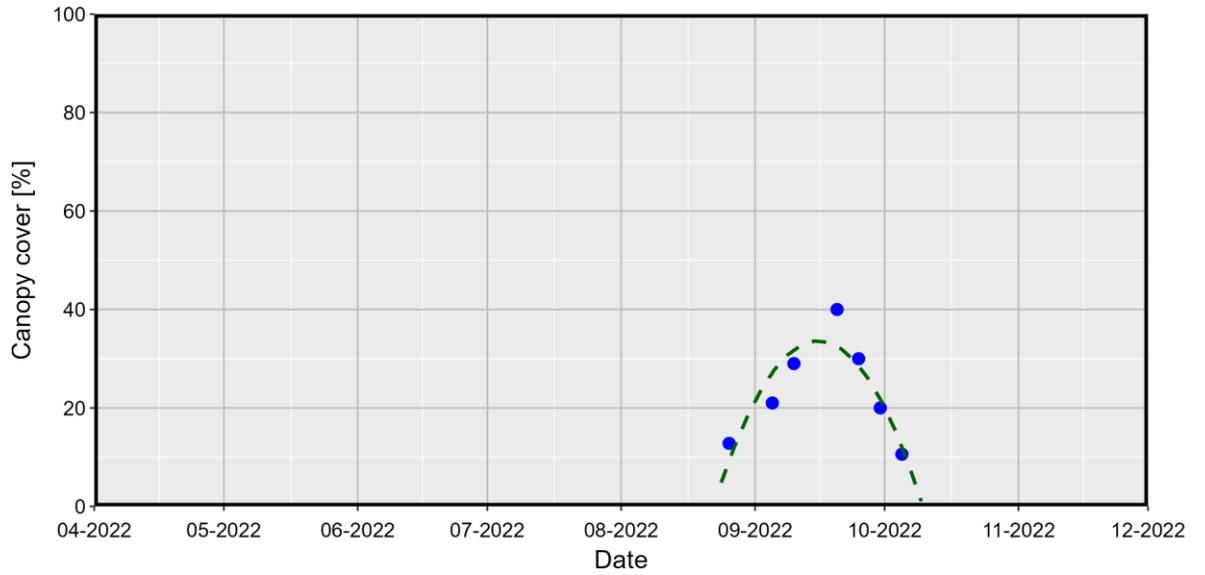
BA-SE-01-03



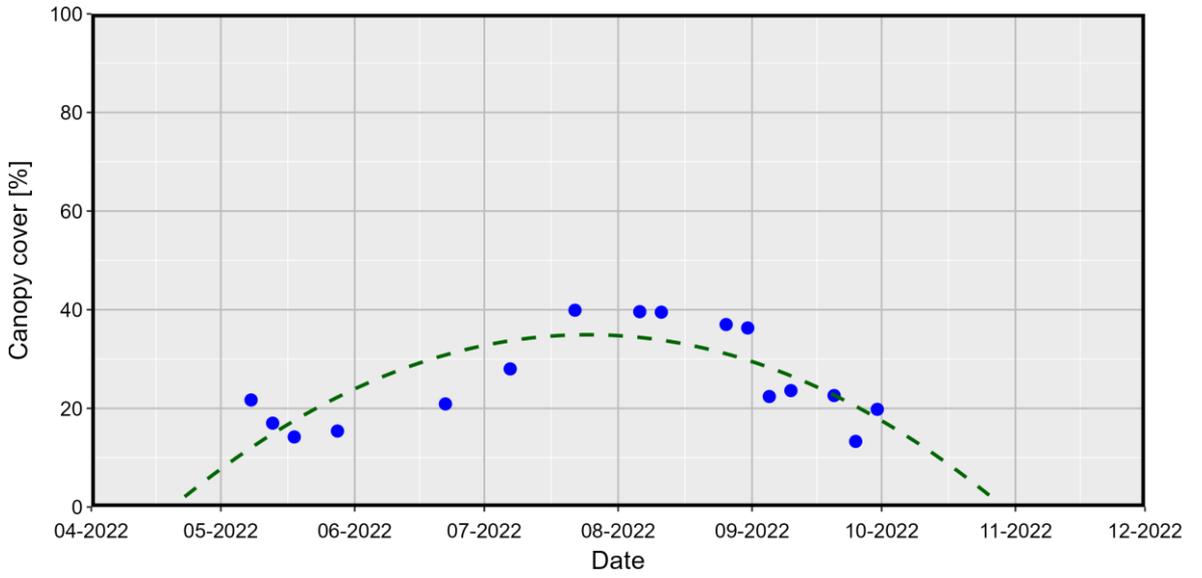
BA-ACI-01-04



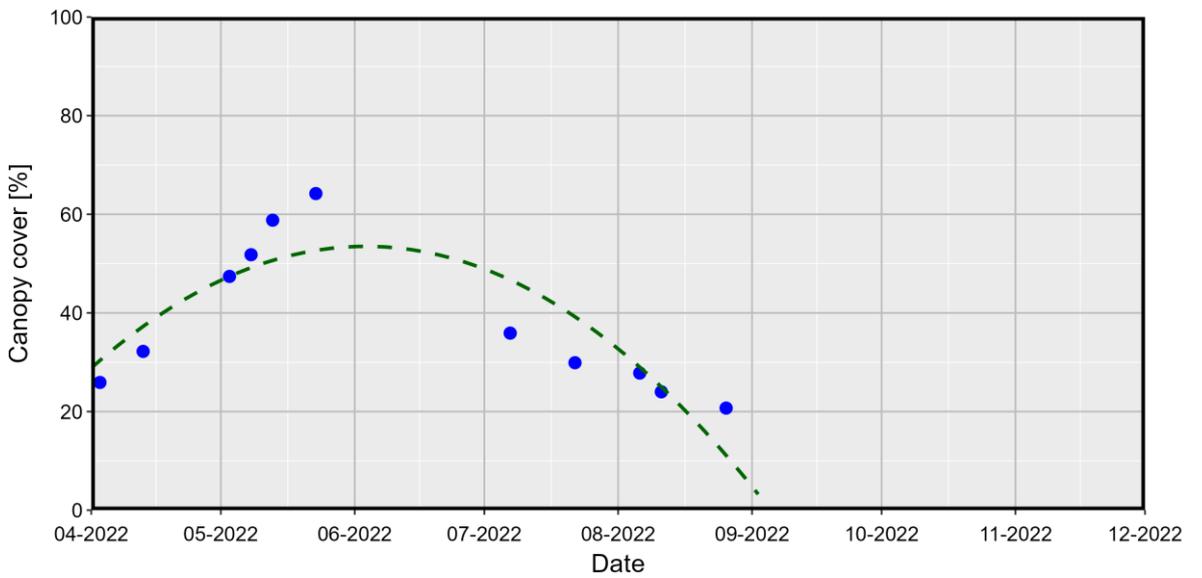
BA-RF-01-02



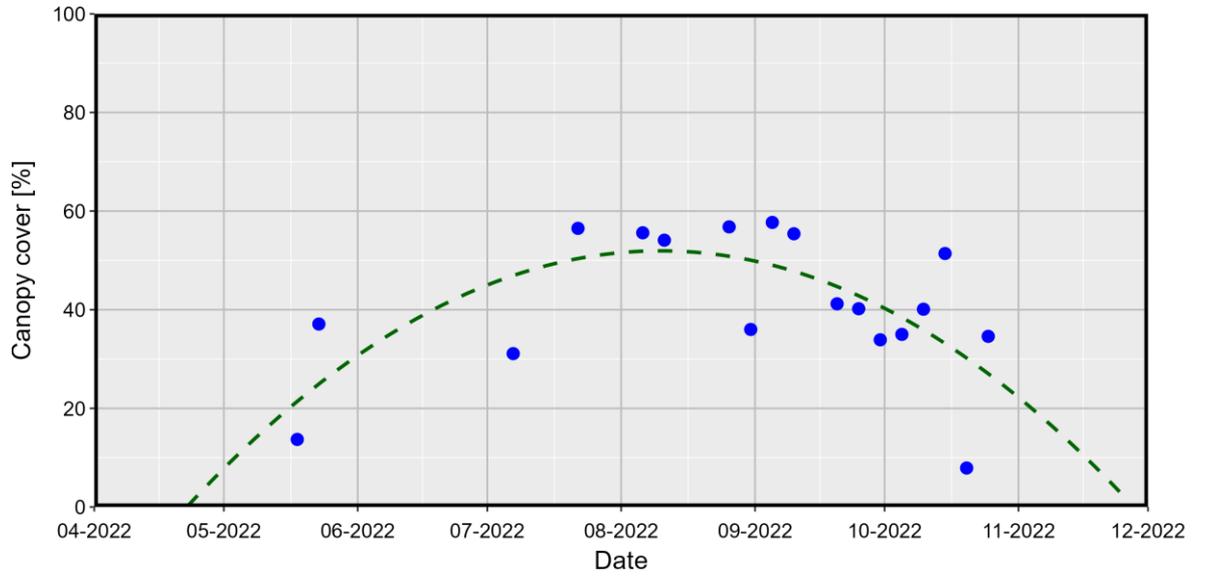
MA-GM-01-03



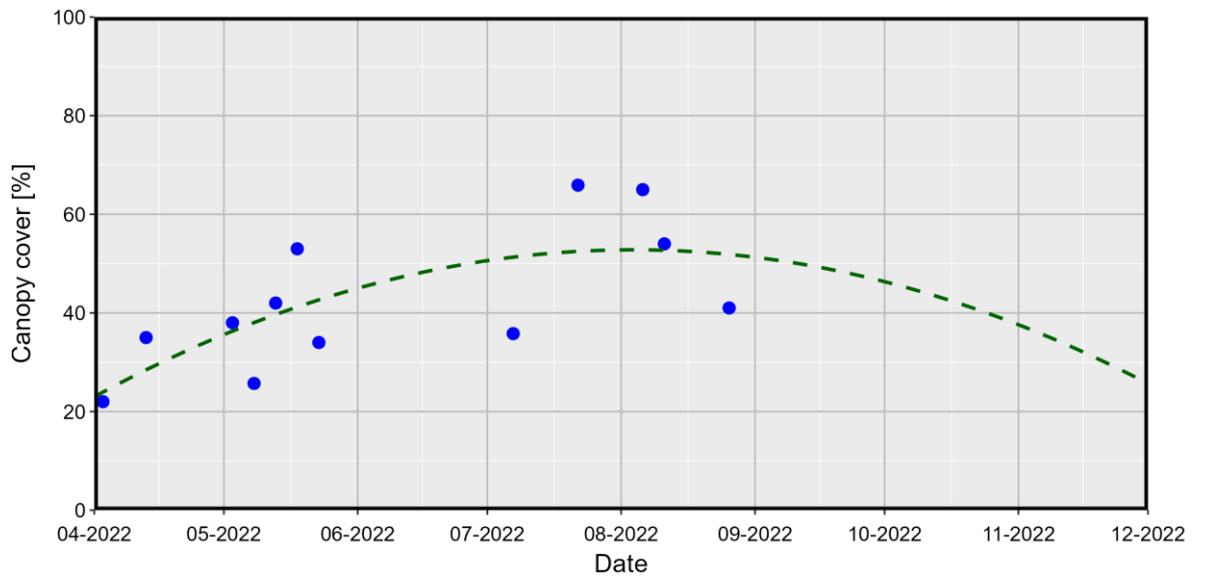
SA-CA-01-01



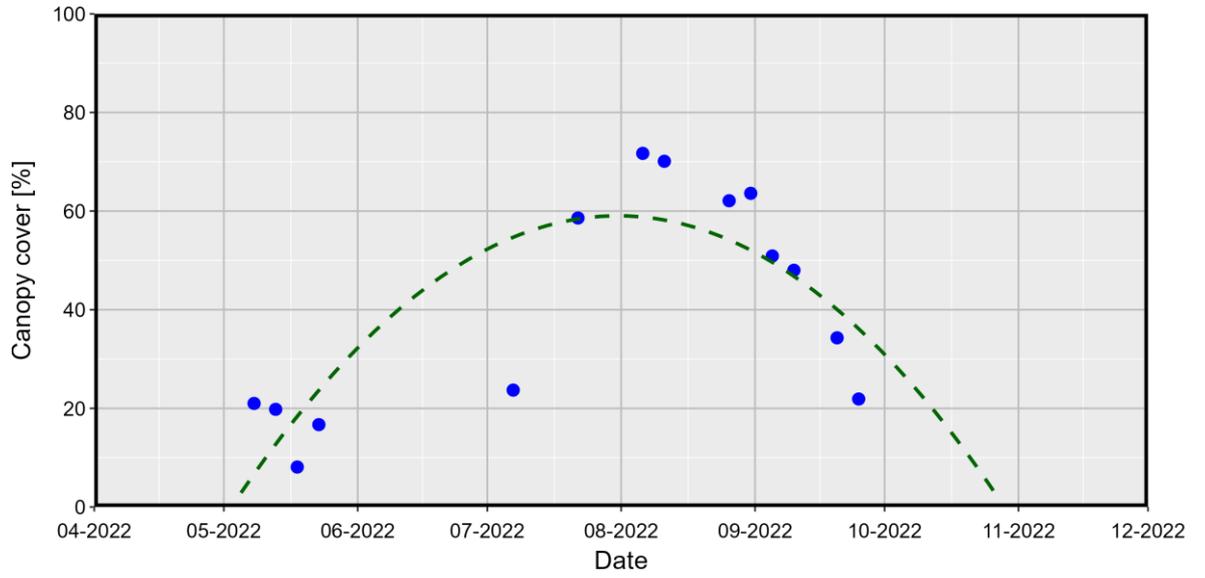
SA-CA-01-02



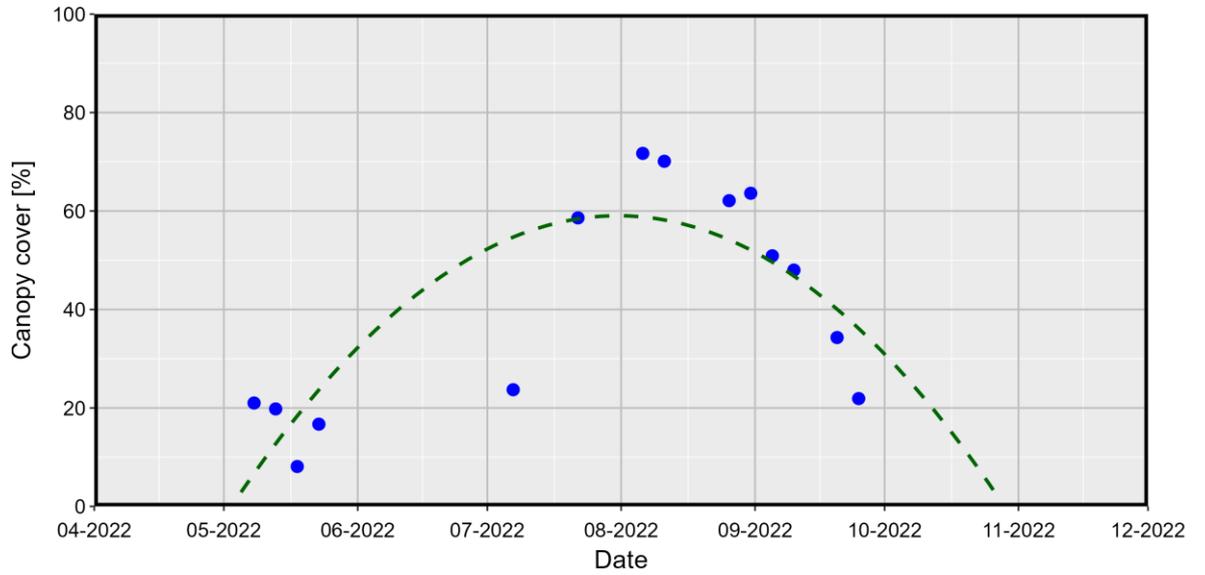
SA-CA-01-03



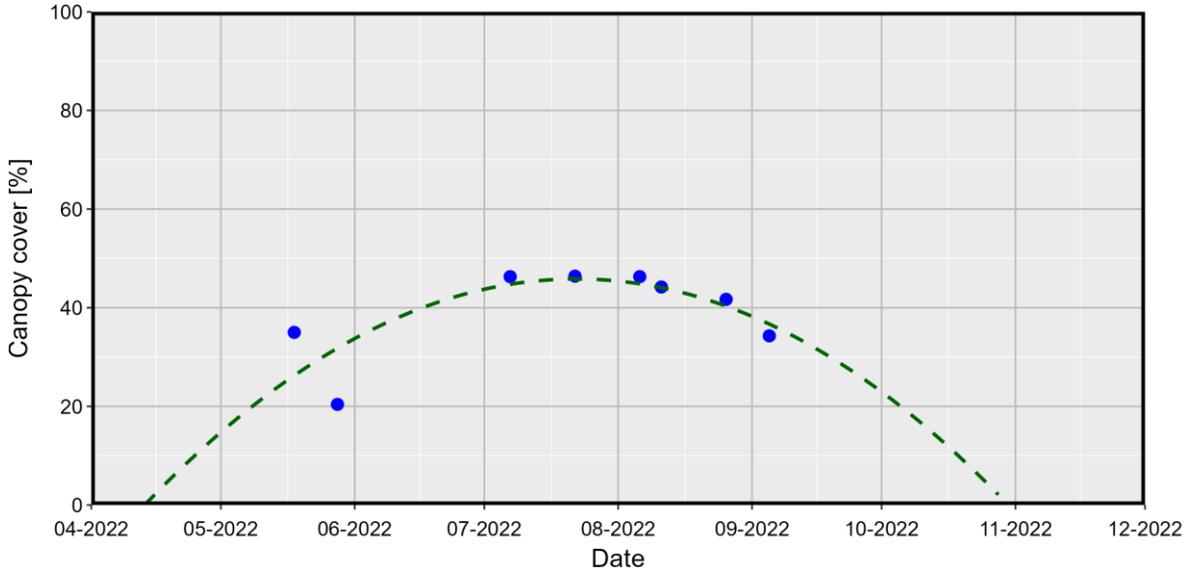
SA-ZM-01-01



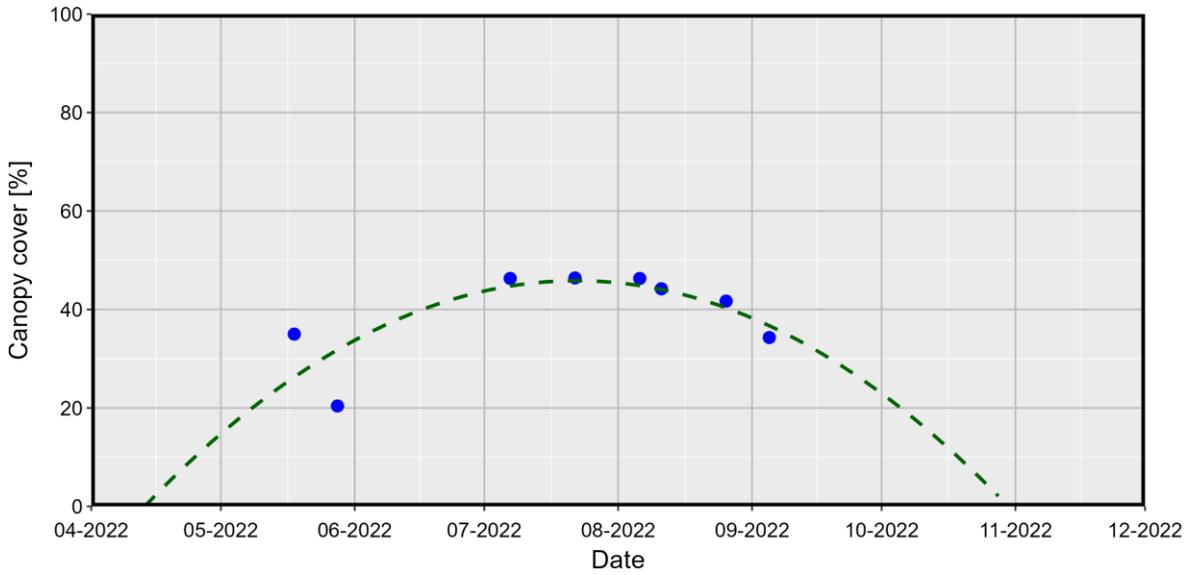
MA-GM-01-04



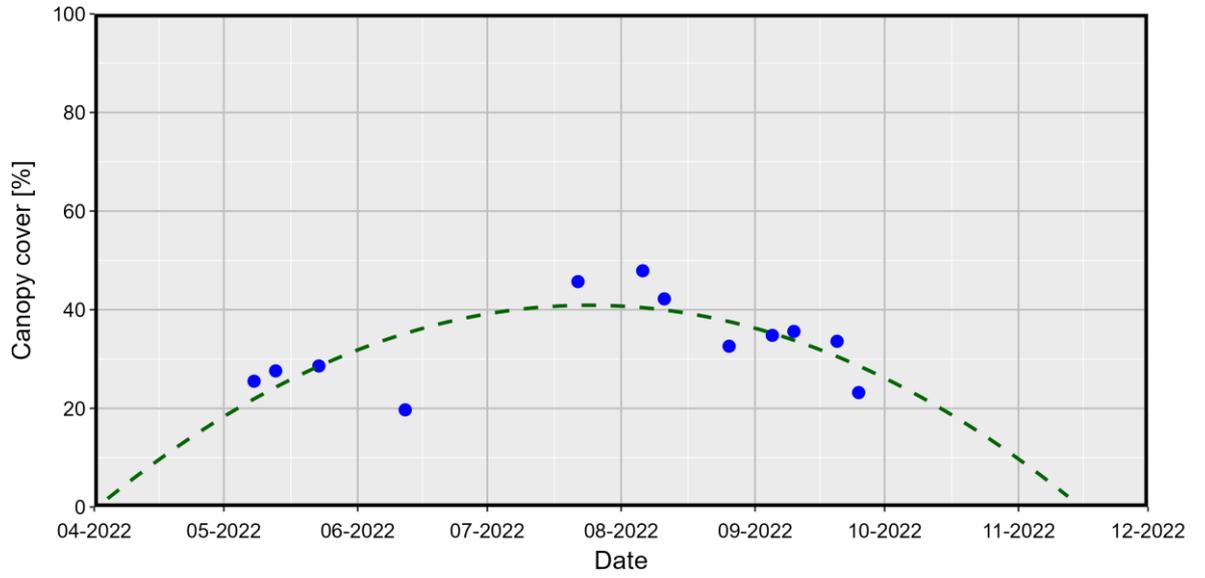
MA-JC-01-02



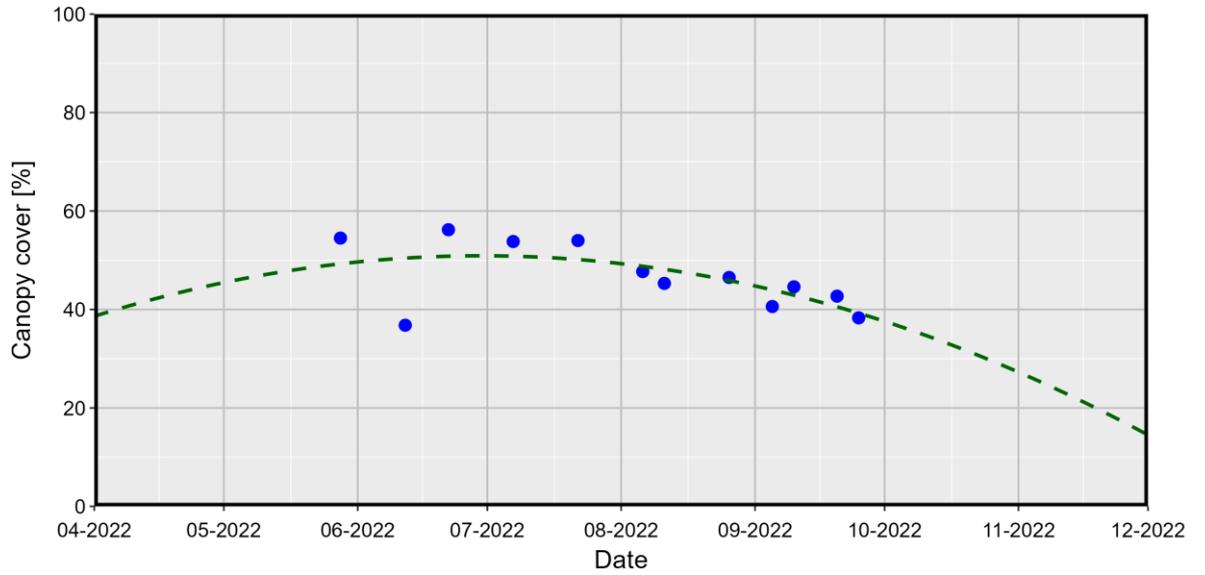
MA-GM-01-02



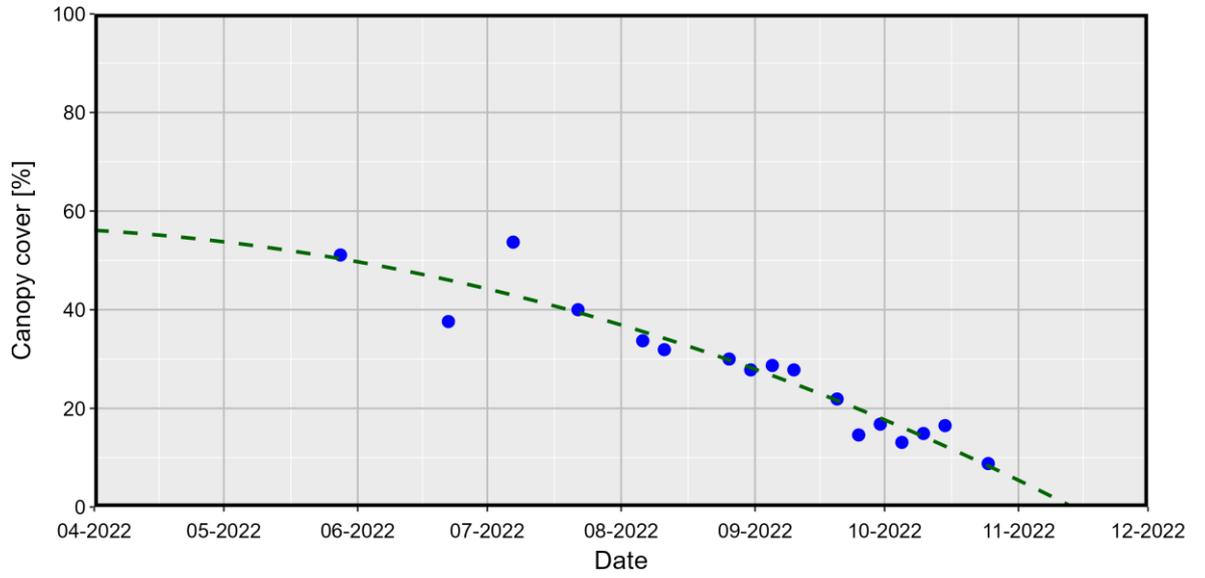
SA-MC-01-01



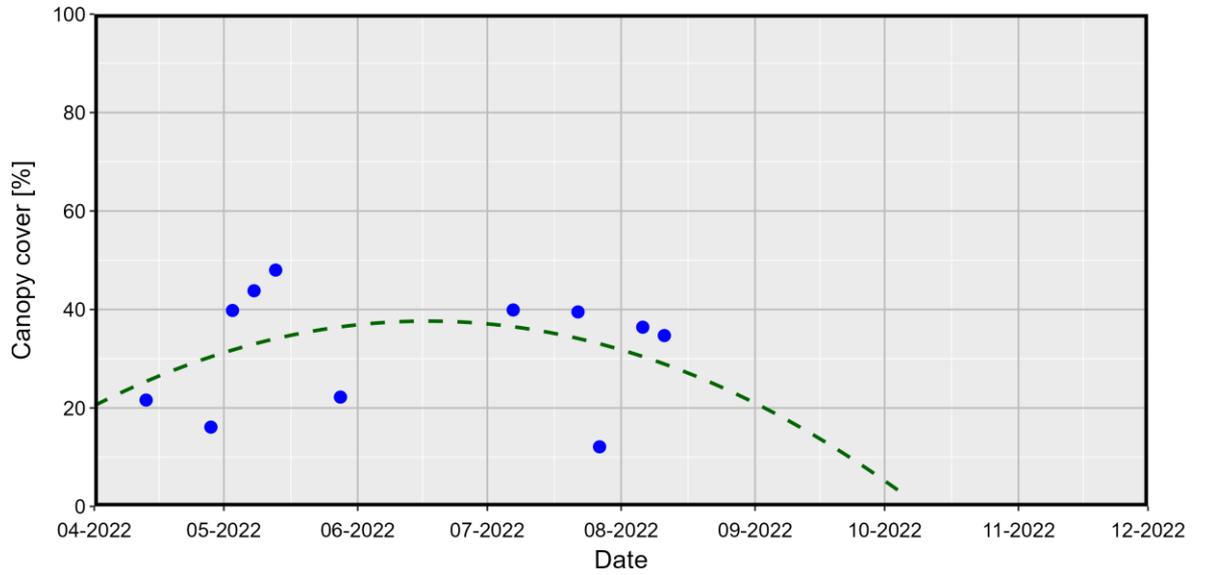
MA-JC-01-01



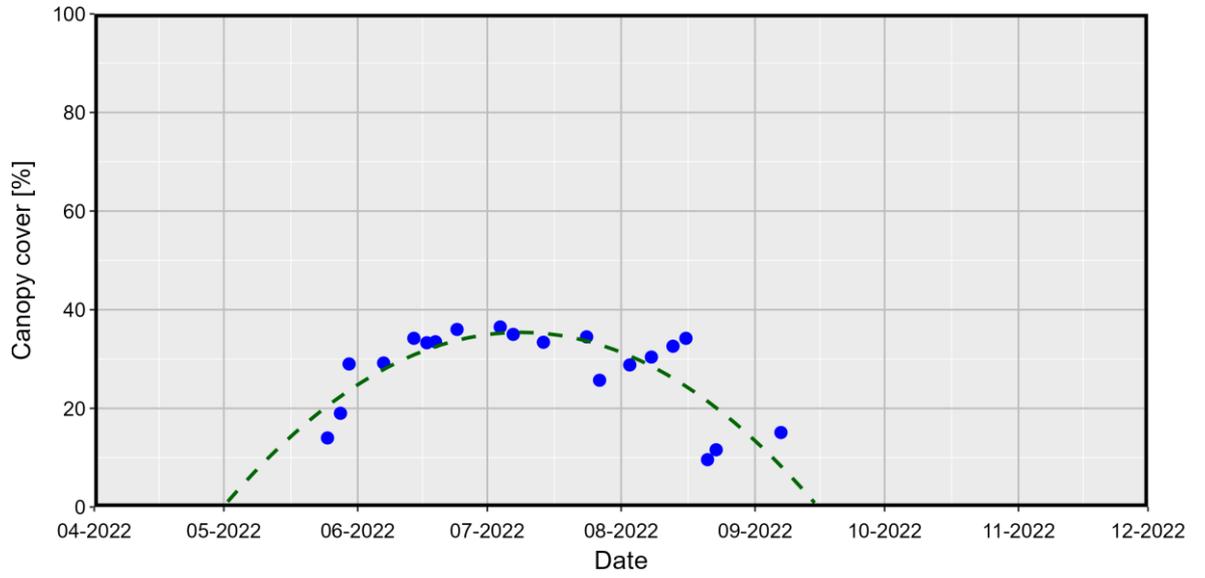
MA-GM-01-01



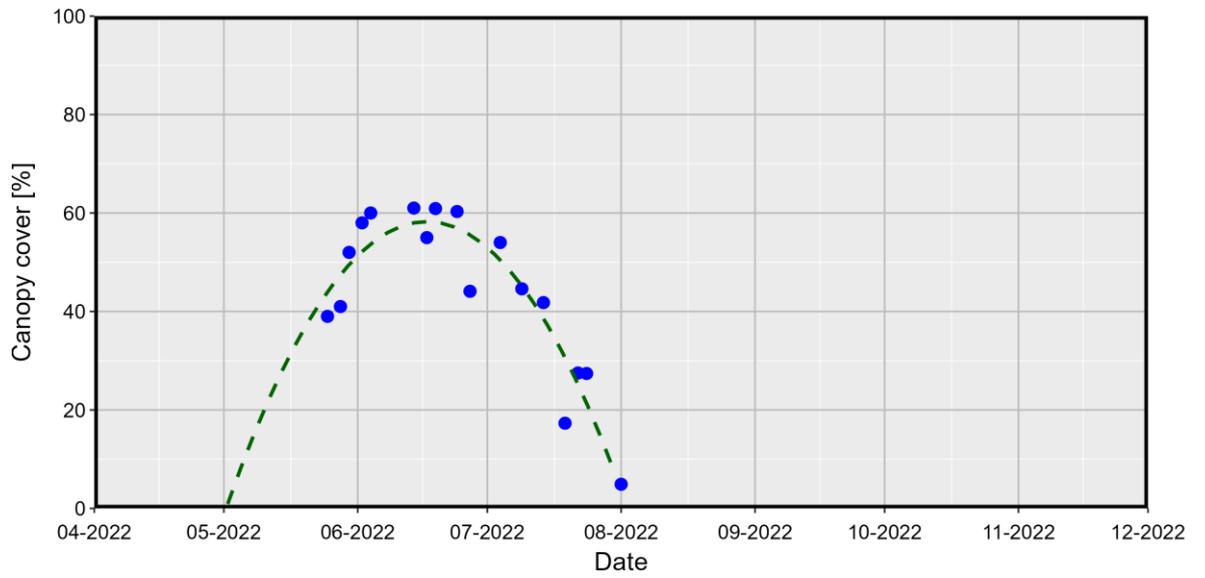
CA-AS-01-01



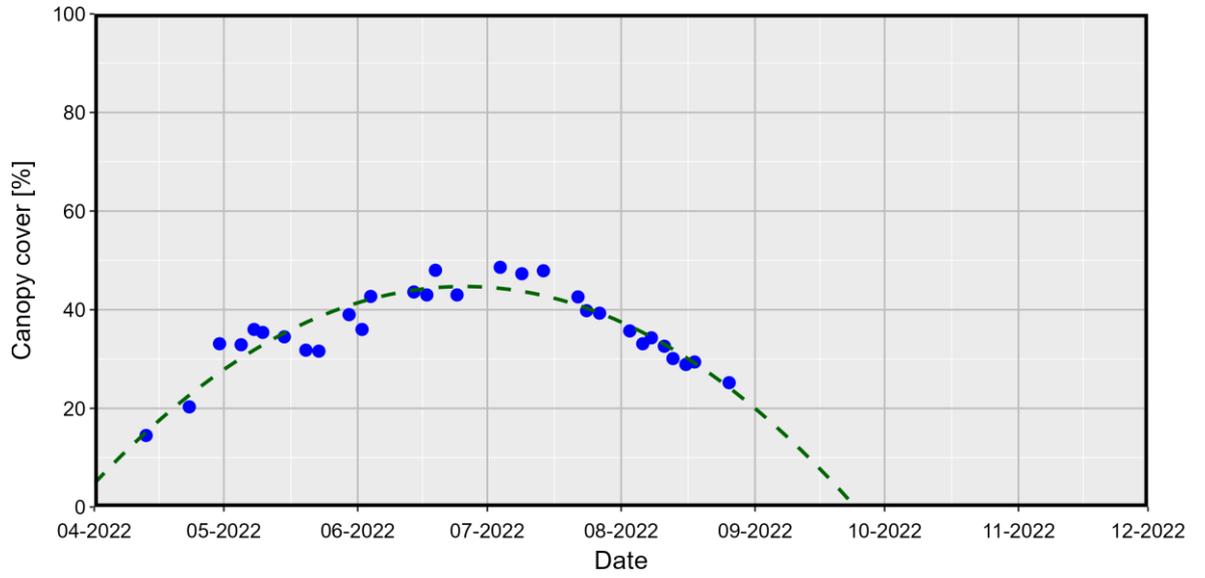
NH-M-01-01



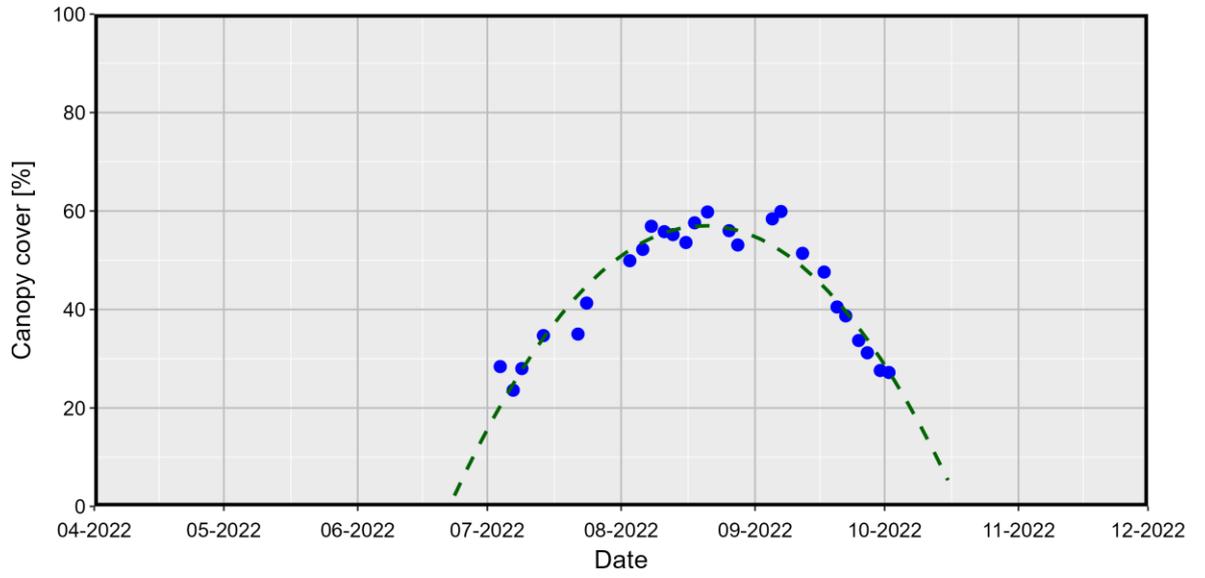
NH-DP-01-01



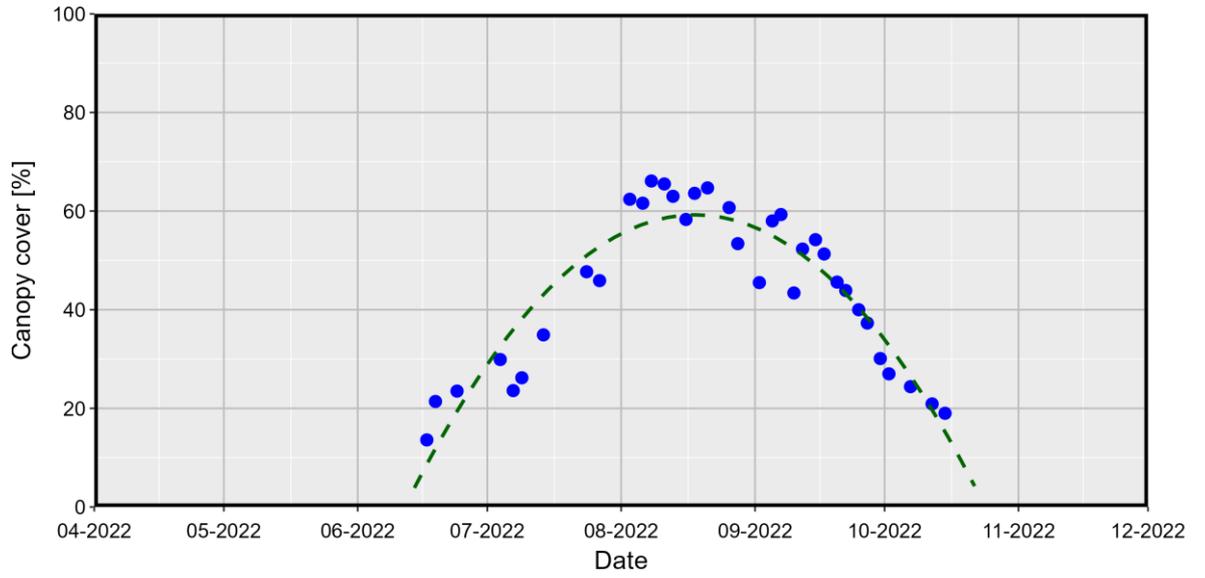
NH-MD-01-01



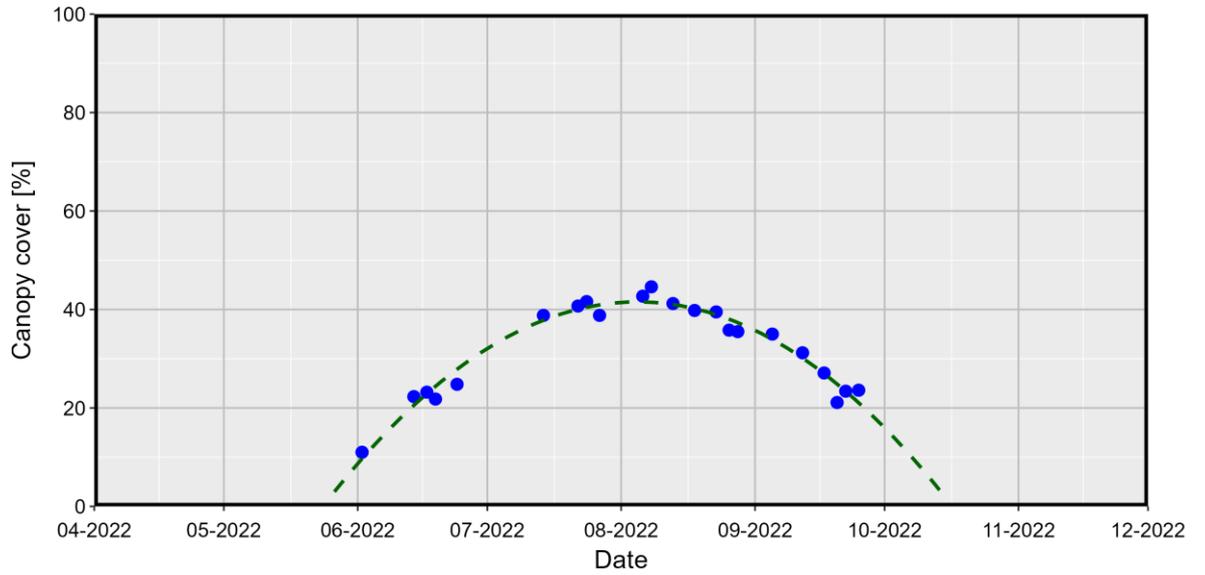
NH-LB-01-01



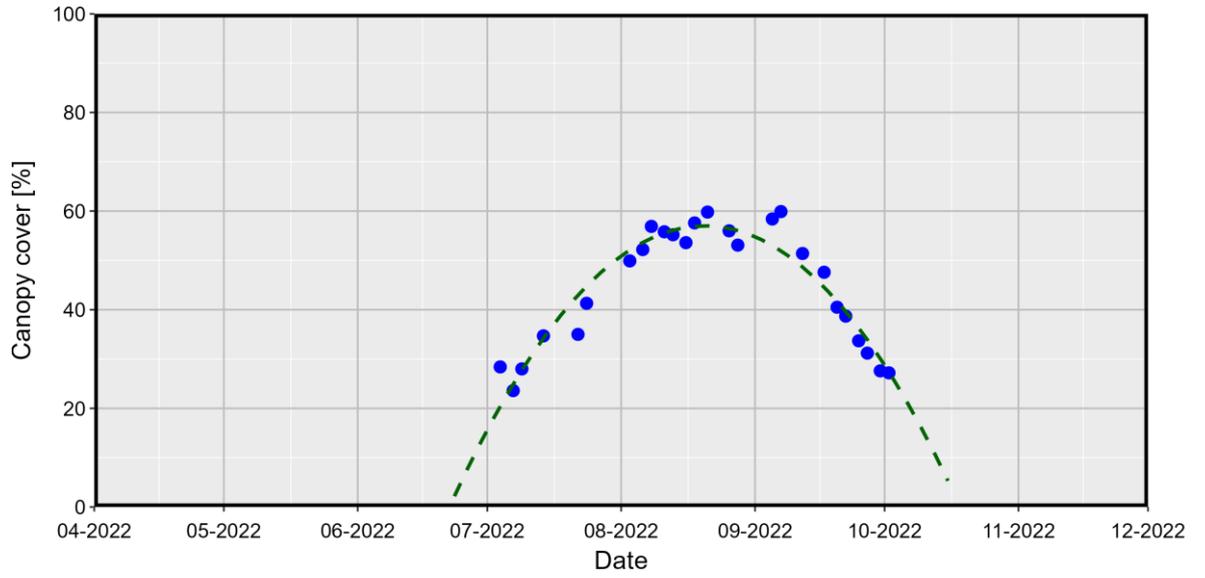
NH-LB-01-02



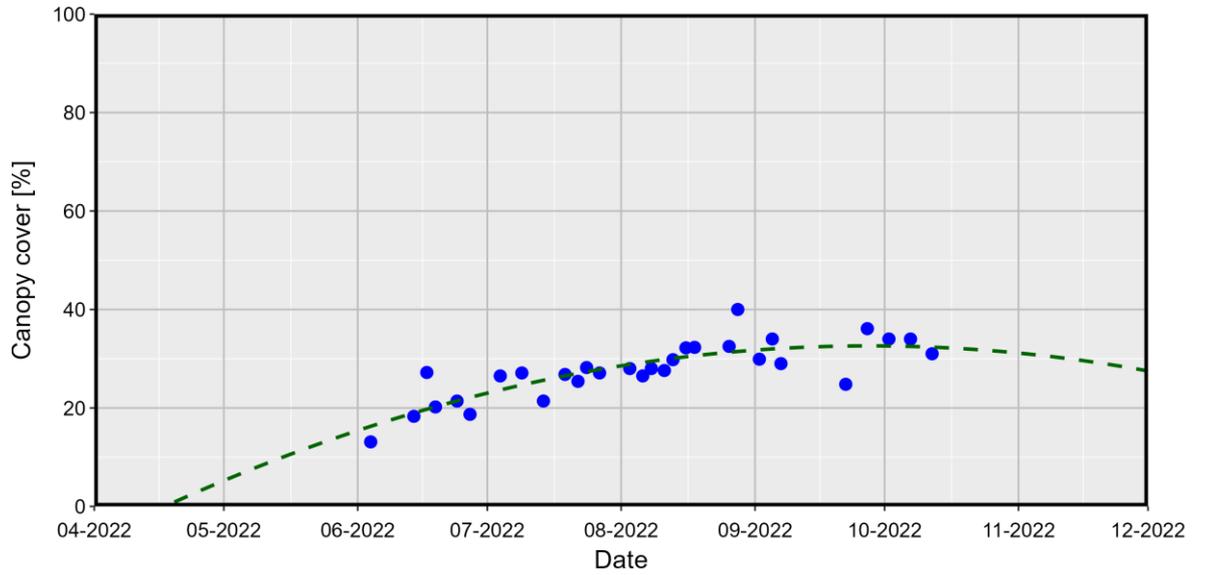
NH-JD-01-05



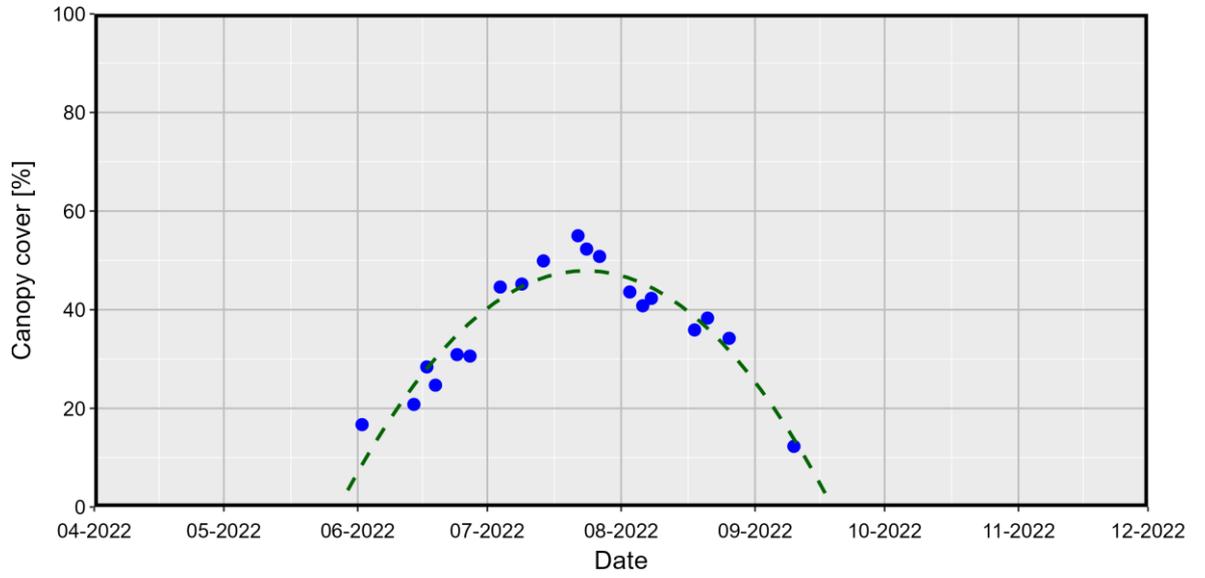
NH-LB-01-03



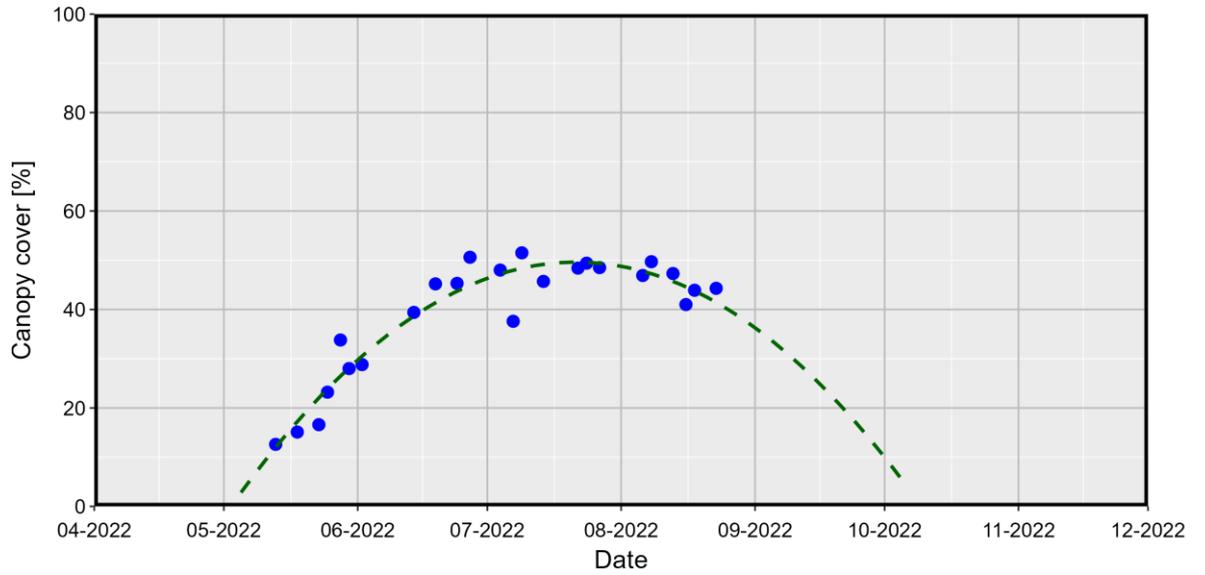
NH-DP-01-02



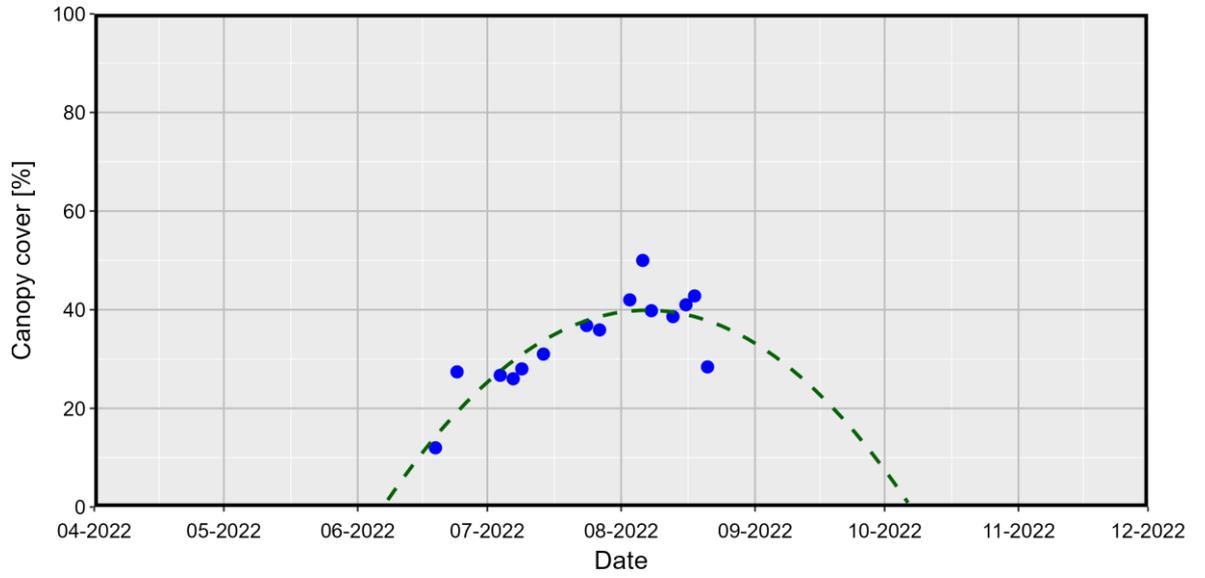
NH-MD-01-02



NH-JD-01-02



NH-M-01-02



NH-JA-01-02

