

Análise da Produtividade da Água: Temporada de chuva 2021-2022

Projeto APSAN-Vale



RELATÓR

238

CLIENTE

Agência de Desenvolvimento do
Vale Zambeze (ADVZ)

AUTORES

Lisa Verschuren
Tijmen Schults
Martijn de Klerk
Jonna van Opstal

DATA

Setembro de 2022

Análise da Produtividade da Água: Temporada de chuva 2021-2022

Projeto APSAN-Vale

Relatório FutureWater 238

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)

Jonna van Opstal – Especialista Sênior em Produtividade da Água (j.vanopstal@futurewater.nl)

Parceiros de projeto APSAN-Vale

Resiliência B.V.

HUB

TerceiroEye Limitada

Data

Setembro de 2022

FutureWater

ENDEREÇO

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

TELEFONE
SITE

+31 317 460 050
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 demonstrará 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 chuvas 2021-2022 (novembro de 2021 - maio de 2022) em três locais diferentes em Moçambique. Esta análise é crucial para avaliar o impacto das intervenções de campo na produtividade da água.

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 crescimento das chuvas de 2021 a 2022 (dezembro a abril) para as áreas do projeto APSAN-Vale.

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 copa. Em última análise, as imagens dos sensores voadores foram combinadas com as imagens Sentinel 2, para determinar a cobertura máxima da copa. 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 temporada de chuva 2021-2022 foram realizados um total de 168 voos de sensores voadores em 32 campos agrícolas, num total de 460 ha. No final, para a análise da produtividade da água, foram utilizados dados de 23 agricultores: 9 em Báruè, 6 em Moatize e 8 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 apresentou resultados para 23 agricultores que foram monitorizados ao longo da época de secas de chuva como parte do projeto APSAN-Vale. A produtividade da água foi calculada apenas para o milho, uma vez que o milho é uma típica cultura de água de chuva. Verificou-se que a produtividade da água do milho variava entre 0,70 e 0,87 kg/m³ em Báruè, 0,60 a 0,76 kg/m³ em Moatize, 0,51-0,74 kg/m³ em Nhamatanda. Após a normalização das condições climáticas, verificou-se que o aumento da produtividade específica da água em termos globais de cultura situou-se em +95% em Báruè, +87% no Moatize e +95% em Nhamatanda, resultando num aumento médio de +92% em comparação com os valores de base. Trata-se de um aumento de +24% em relação ao anterior relatório da temporada de chuva (2020-2021) queatinge a meta definida para 2021-2022 de +25%, conforme indicado no diário do projeto.

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 I de 1,79 kg/m³. Verificou-se que a produtividade da água a biomassa variava entre 1,60 e 1,79 kg/m³ em Bárue, 0,88 a 1,06 kg/m³ em Moatize, e 0,88 a 1,18 kg/m³ em Nhamatanda. A variação relativa da produtividade da água em relação aos valores de base é de +30%, +40% e +48% para Bárue, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. O aumento global da produtividade da água estimado no nível da sub-bacia (comunidade) é de +39%.

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 +30%, +20%, e +11% para Bárue, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. O aumento médio da produtividade da água a biomassa foi de +20% para todos os distritos juntos.

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 Sentinel 2	18
2.4 Passo 3: Processamento para mapas de cobertura de capota	18
2.5 Passo 4: Modelação do crescimento das culturas	18
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	23
2.8 Passo 7: Normalização para as condições meteorológicas anuais	24
2.9 Passo 8: Avaliação sazonal da produtividade da água	24
3 Resultados climáticos sazonais	26
3.1 Evapotranspiração de referência	26
3.2 Precipitação	27
4 Resultados da produtividade da água à escala de campo	30
4.1 Báruè	30
4.2 Moatize	32
4.3 Nhamatanda	34
5 Resultados da produtividade da água à escala sub-bacia	37
6 Resultados da produtividade da água à escala da bacia	39
7 Avaliação sazonal da produtividade da água	41
7.1 Escala de campo	41
7.2 Escala sub-bacia	42
7.3 Escala de bacia	43
8 Observações finais	45
Anexo 1 - Visão geral dos dados de entrada	46
Anexo 2 - Curvas de dossel equipadas	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 esta época	10
Tabela 3. Panorâmica dos voos e da área durante a época de chuva de 2021-2022	17
Tabela 4. Parâmetros calibrados para o milho em Báruè, Moatize e Nhamatanda	22
Tabela 5. Textura do solo em cada site	22
Tabela 6. Evapotranspiração total sazonal de referência para Báruè, Moatize e Nhamatanda durante a época de rega de 2021-2022 (novembro a maio) e média de longo prazo (2001-2018) época de rega	27
Tabela 7. Precipitação sazonal para Báruè, Moatize e Nhamatanda durante a época de chuva de 2021-2022 e média de longo prazo (2001-2018) estação chuvosa	29
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 Báruè	31
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	33
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	35
Tabela 11. Resultados da produtividade da água da análise das sub-bacias utilizando o portal de dados WaPOR	37
Tabela 12. Panorâmica das estatísticas da evapotranspiração real, produção de biomassa e produtividade da água para as bacias de Báruè, Moatize e Nhamatanda	39
Tabela 13. Produtividade normalizada da água do milho (em kg/m ³) para a época de chuva de 2021-2022 em comparação com os valores de base	41
Tabela 14. Produtividade da água a biomassa (kg/m ³) para a época de chuvas 2021-2022 à escala das sub-bacias em comparação com a linha de base de 2015-2020, tal como deriva do portal de dados WaPOR	42
Tabela 15. Produtividade da água a biomassa (kg/m ³) para a época de chuva 2021-2022 à escala da bacia em comparação com a linha de base	44
Tabela 16. Dados de entrada de campo para Báruè	46
Tabela 17. Dados de entrada de campo para o Moatize	47
Tabela 18. 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 temporada de chuva 2021-2022.....	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 sensor de voo APSAN-Vale 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	19
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 época de irrigação de 2021 das estações TAHMO e suplementou dados wapor para Moatize e Báruè.	26
Figura 15. Comparação da evapotranspiração de referência mensal durante a época de chuva de 2021-2022 com a média de longo prazo (2009-2018) calculada a partir das estações meteorológicas TAHMO e dados da WaPOR.....	27
Figura 16. Precipitação diária para a época de chuva de 2021-2022 do TAHMO e CHIRPS	28
Figura 17. Comparação da precipitação média mensal durante a época de chuva de 2021-2022 com a média de longo prazo (2001-2018) derivada do conjunto de dados CHIRPS.	29
Figura 18. Curva de dossel equipada para PPC Antonio com uma cobertura de capota de fração máxima de 0,39	30
Figura 19. Mapas de produtividade da água de campo dos agricultores em Báruè para a época de chuva 2021-2022.....	32
Figura 20. Curva de dossel equipada para PPC Antonio com uma cobertura de capota de fração máxima de 0,41	32
Figura 21. Mapas de produtividade da água no campo dos agricultores em Moatize para a época de chuva 2021-2022.....	34
Figura 22. Curva de vela equipada para PPC José 1 com uma fração máxima de cobertura de vela de 0,37.....	34
Figura 23. Mapas de produtividade da água de campo dos agricultores em Nhamatanda para a época de chuva 2021-2022.....	36
Figura 24. Produtividade da água a biomassa (kg/m ³) para sub-bacias em Báruè para a época de chuva 2021-2022.....	38
Figura 25. Produtividade da água a biomassa (kg/m ³) para sub-bacias em Moatize para a época de chuva 2021-2022.....	38
Figura 26. Produtividade da água a biomassa (kg/m ³) para sub-bacias em Moatize para a época de chuva 2021-2022.....	38
Figura 27. Produtividade sazonal da água de biomassa (kg/m ³) à escala de bacia para os pixéis de cultivo em Báruè, Moatize e Nhamatanda para a época de irrigação de 2021.....	40
Figura 28. Visão geral dos resultados da produtividade da água para todas as avaliações desde a linha de base.	42
Figura 29. Visão geral dos resultados da produtividade da água para a escala da sub-bacia	43
Figura 30. Visão geral dos resultados da produtividade da água para a bacia	44

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.

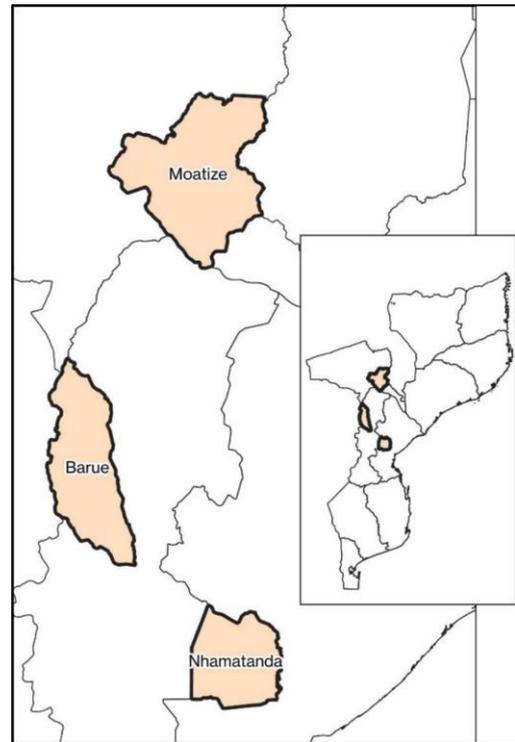


Figura 1. Distritos de localização de atividades do projeto APSAN-Vale

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). 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.¹

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 quadro 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) e são indicadas no Quadro 1 como valores cumulativos, enquanto os mapas de produção são o total anual para cada ano. 2

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

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

1.4 Visão geral da temporada

A estação de cultivo de chuvas começou no final de novembro de 2021 e terminou em maio de 2022. A única cultura que foi analisada durante esta época foi o milho, uma vez que esta foi a única cultura que foi cultivada pelos agricultores esta época. 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 Quadro 2. No final, para a análise da produtividade da água, foram utilizados dados de 23 agricultores.

Tabela 2. Panorâmica do número de voos realizados e dos agricultores monitorizados durante esta época

	Báruè	Moatize	Nhamatanda	Total
Voos realizados	64	61	42	167
Agricultores monitorizados	10	7	8	25
Área coberta	200 ha	140 ha	160 ha	500 ha
Agricultores monitorizados para WP	9	6	8	23

1.5 Localizações do projeto

1.5.1 Campos

Para cada distrito, foram selecionados vários pequenos agricultores comerciais (Pequenos Produtores Comerciais ou PPCs) para o projeto de implementação de numerosas práticas inovadoras (boas práticas) para aumentar a produtividade da água. A maioria dos PPCs selecionados foram monitorizados com voos de sensores voadores. Em Báruè, Moatize e Nhamatanda, nove, seis e oito

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

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.

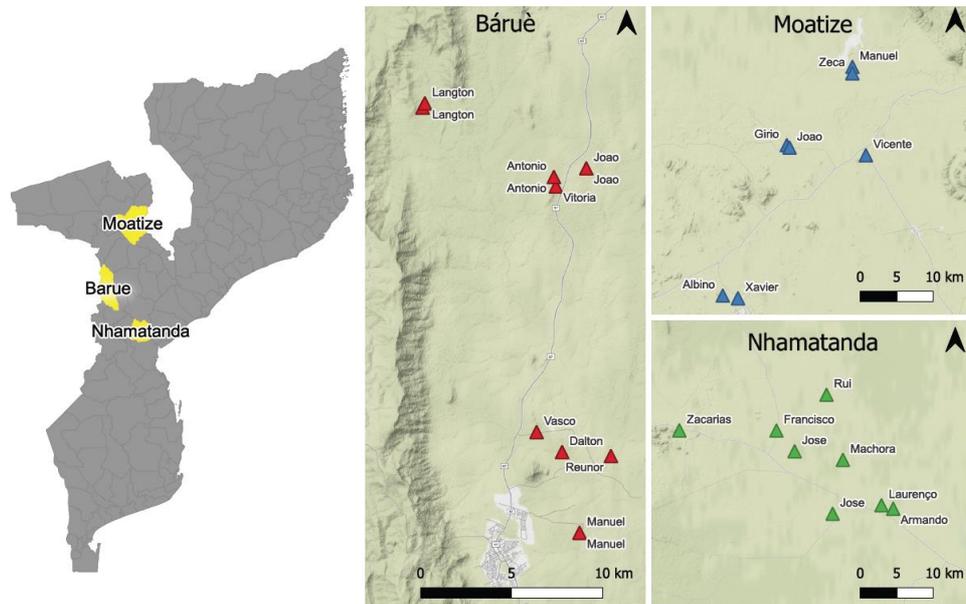


Figura 2. Localização dos PPCs selecionados monitorizados com voos de sensores voadores durante a temporada de chuva 2021-2022

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.

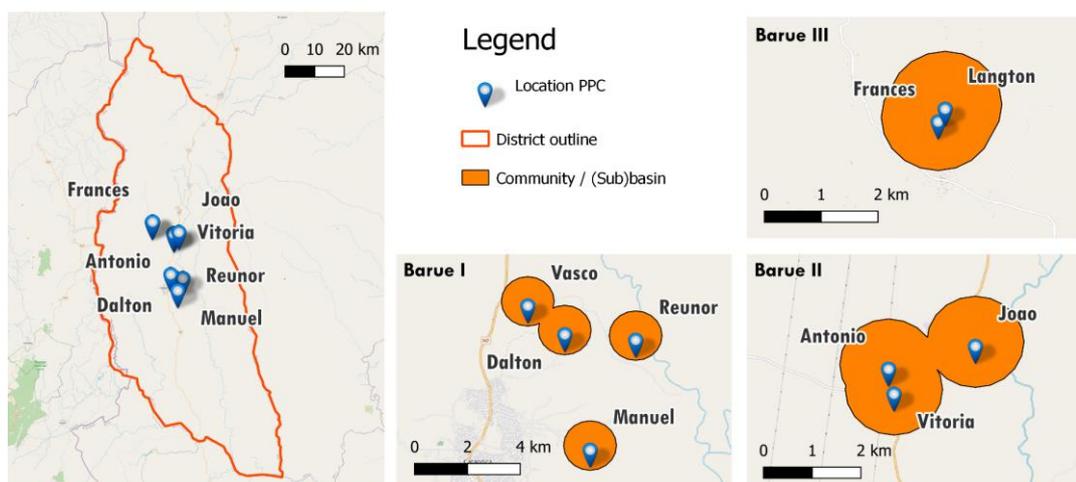


Figura 3. Localização e limites das zonas sub-bacias em Bárue

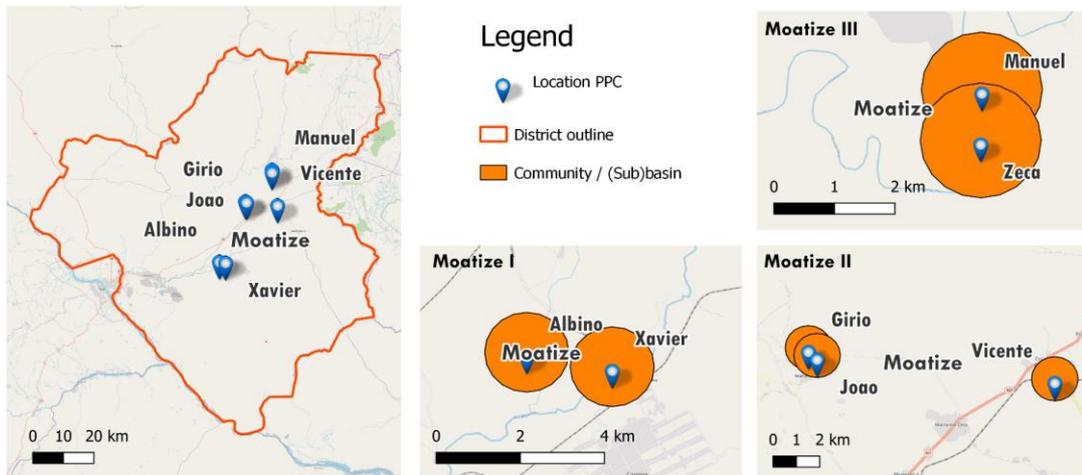


Figura 4. Localização e limites das áreas sub-bacias em Moatize

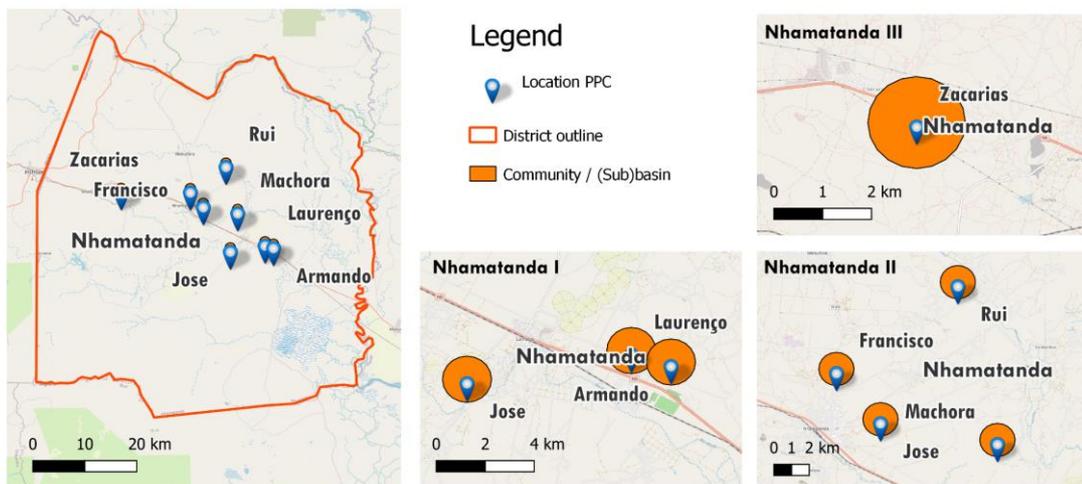


Figura 5. Localização e limites das zonas sub-bacias em Nhamatanda

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). 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 projeto. 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.³⁴

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.

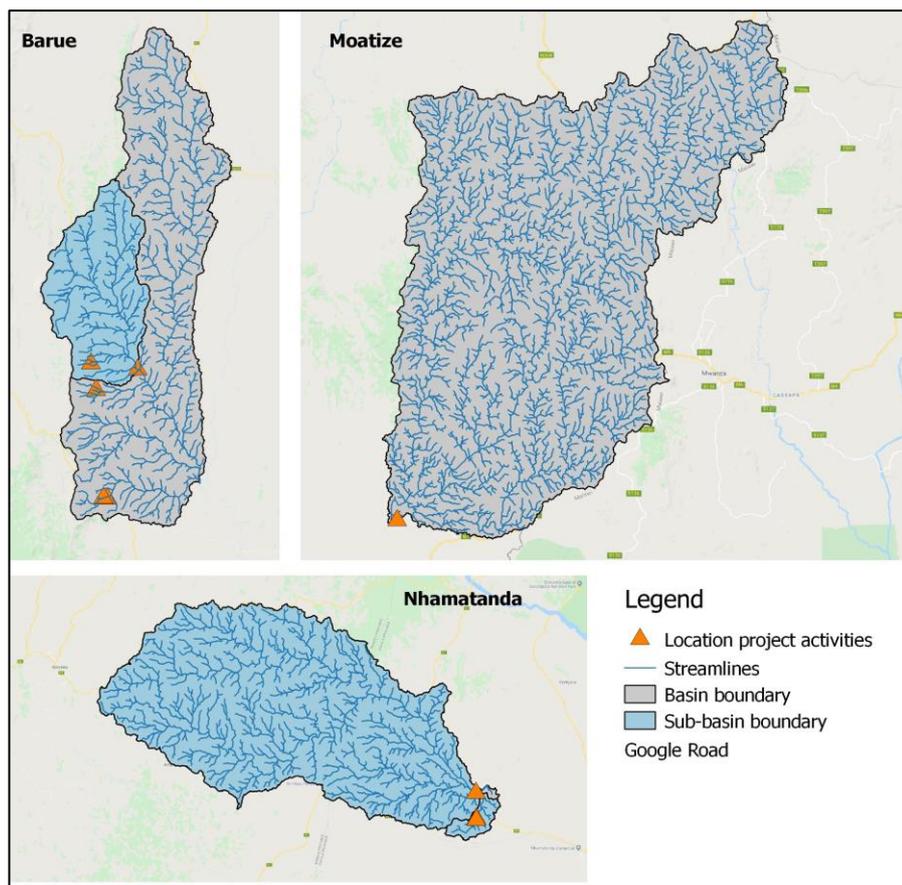


Figura 6. Delimitação de bacias e dinamizações para Bárue, Moatize e Nhamatanda

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 crescimento e compara-as com os 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). 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:⁵

$$\text{Biomass water productivity [kg/m}^3\text{]} = \frac{\text{Biomass production [kg]}}{\text{Evapotranspiration [m}^3\text{]}}$$

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

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 modelos 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

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.

campo, a simulação aquaCrop mais adequada é selecionada para ser representativa desse campo. Nas secções seguintes, os vários passos são elaborados.

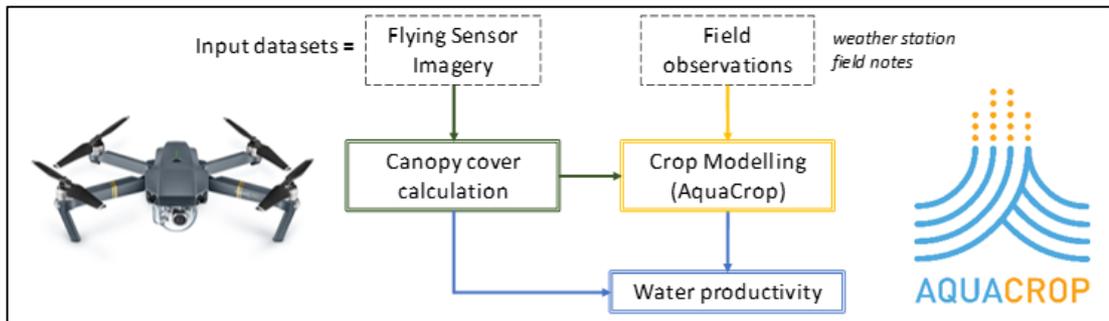


Figura 7. Fluxo de trabalho para o cálculo da análise da produtividade da água específica para as culturas

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.

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

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.

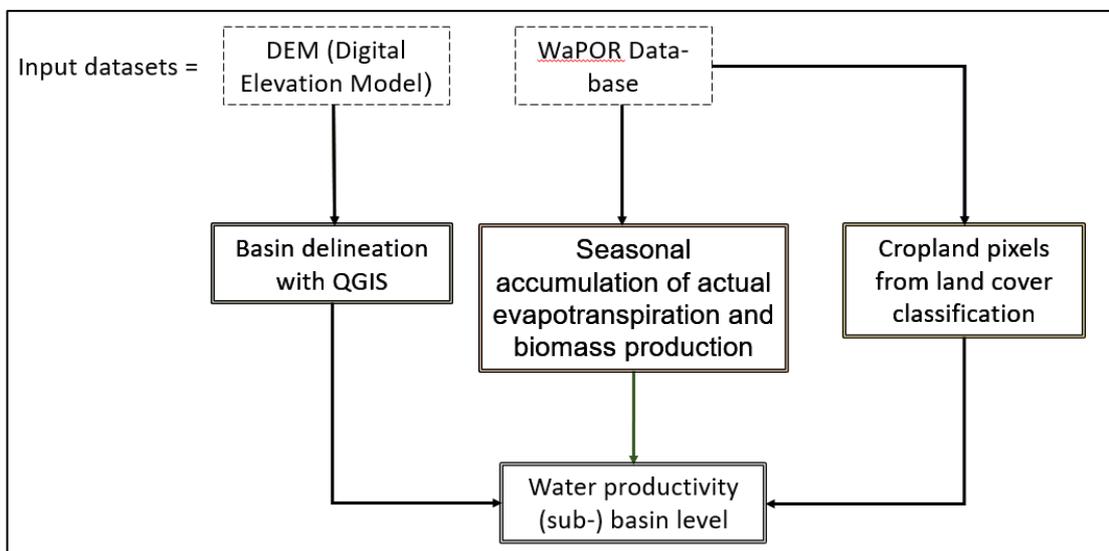


Figura 8. Fluxo de trabalho para análise da produtividade da água de biomassa

2.1.4 Visão geral da metodologia

O fluxograma fornece uma visão geral dos diferentes passos que foram dados durante este projeto (Figura 9). As sub-secções 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 equipamento de sensor voador utilizado na APSAN-Vale é um drone Mavic Pro e uma câmara adicional para detetar o estado da vegetação. A 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. A figura 11 dá uma ilustração da resposta às condições salientes de uma folha. Se a folha estiver em óptima 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 sensor de voo APSAN-Vale 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.

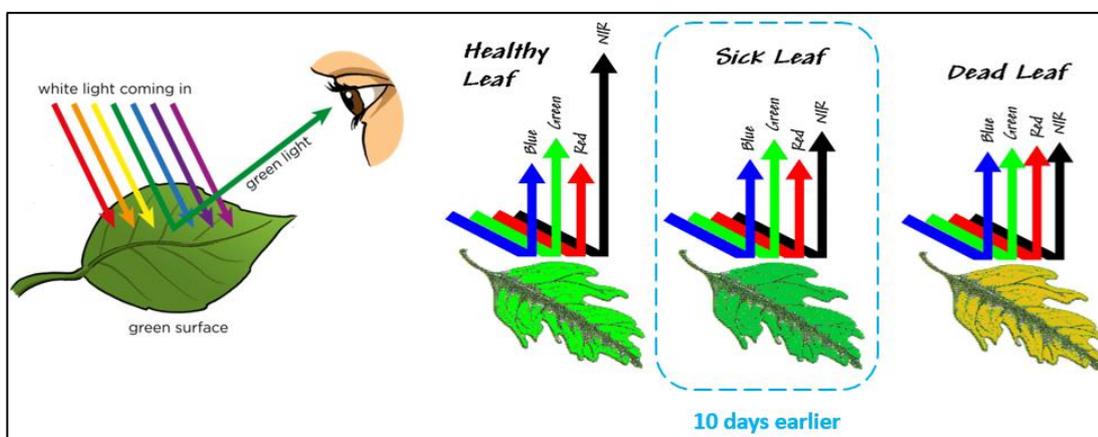


Figura 11. Ilustração explicando a resposta do comprimento de onda quase infravermelho (NIR) ao estado da vegetação

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 quadro 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 64, 61 e 42, respectivamente. A área total monitorizada com os sensores voadores foi de 180 ha, 120 ha e 160 ha para Báruè, Moatize e Nhamatanda, respectivamente.

Tabela 3. Panorâmica dos voos e da área durante a época de chuva de 2021-2022

	Báruè	Moatize	Nhamatanda
Dezembro		15-12-2021 17-12-2021	
Janeiro	20-01-2022 21-01-2022	13-01-2022 14-01-2022	18-01-2022 20-01-2022
Fevereiro	10-02-2022 11-02-2022	01-02-2022 02-02-2022 05-02-2022	08-02-2022 09-02-2022
Março	18-03-2022	08-03-2022 10-03-2022 11-03-2022 29-03-2022 30-03-2022	15-03-2022 22-03-2022
Abril	05-04-2022 07-04-2022 08-04-2022		06-04-2022
Voos realizados	64	61	42
Área coberta	180 ha	120 ha	160 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 quadro 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 vegetacional 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 da 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 (=1 m²) 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., 2014; Hunink e Droogers, 2010, 2011). 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., 2017, van Opstal, 2019) e para avaliar cenários de agendamento de irrigação (Goosheh et al., 2018). 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.⁶⁷⁸⁹¹⁰¹¹

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 arom sósias.

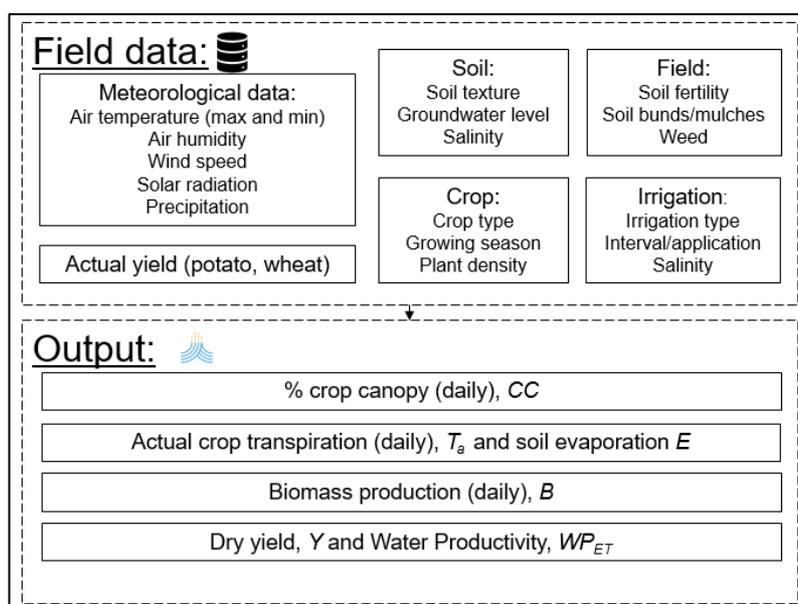


Figura 12. Dados de campo e simulações de saída do modelo AquaCrop

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 GooshehM., Rio PaziraE., Rio GholamiUm. AndarrianaB. e Rio 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.

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 estação de chuva. 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). As informações básicas sobre as datas de plantação, a densidade vegetal, o comprimento total de crescimento (duração do ciclo de cultura) e o rendimento das culturas são fundamentais para a obtenção de simulações fiáveis do AquaCrop. Vários destes parâmetros são específicos para 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 utilizados para simular cobertura de copas específicas 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. Foram utilizados ficheiros de colheita no modo Growing Degree Days (°C days). Os Dias de Grau Crescente explicam os efeitos dos regimes de temperatura na fenologia das culturas.

Devem ser afinados parâmetros específicos do modelo de cultura para obter rendimentos precisos das culturas. No quadro

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 são indicados 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 crescimento 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. A duração das fases específicas de crescimento das culturas é determinada pelos dias de grau de crescimento recebidos (dias°C). A duração das fases de cultivo foi afinada com base nas informações recolhidas sobre a duração do ciclo de culturas (desde a plantação até à colheita no anexo 1).

Tabela 4. Parâmetros calibrados para o milho em Báruè, Moatize e Nhamatanda

Parâmetro	Milho
Hi (%)	75
CGC (-)	0.011-0.016
CDC (-)	0.0014-0.002
Da sementeira ao surgimento (dias°C)	310
Da sementeira à profundidade máxima de enraizamento (°C dias)	1672
Da sementeira à senescência inicial (dias°C)	1525
Da sementeira à maturidade (duração do ciclo de cultura) (°C dias)	1977
Da sementeira à floração (°C dias)	852
Comprimento do estágio de floração (°C dias)	279

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 Báruè foi atualizado na época passada, devido a novos dados de campo adquiridos. Na Figura13, 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	Loam de areia
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 detecção 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). O seu 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 (figura 6) e agregadas para encontrar valores sazonais para a época de chuva de 2021-2022: novembro de 2021 a maio de 2021. Além disso, as camadas de dados também foram descarregadas para as sub-bacias (figura 3, 4 e 5) para a época de secas de chuva de 2021-2022.

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 ETLook. 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.¹³

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 luz. 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 estação da chuva.¹⁴ Da biomassa sazonal e da sazonalidade, a produtividade da água para a época de chuva 2021-2022 foi calculada.

¹³ Bastiaanssen et al. (2012)

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

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 das culturas.

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 base, foram utilizados dados meteorológicos de um período de 17 anos para a análise da escala de campo (2001 - 2017). 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.¹⁵

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 resultado das condições meteorológicas ou do impacto das inovações do projeto. A normalização dos valores da produtividade da água foi calculada utilizando a equação abaixo usando 2021 como um ano de exemplo e usando a evapotranspiração de referência (ET_0) como representante das condições meteorológicas anuais. Esta equação e metodologia foram descritas por Bastiaanssen e Steduto (2016), como um método para comparar a produtividade da água entre anos e regiões com diferentes condições climáticas.¹⁶

$$WP_{norm,2019} [kg/m^3] = \frac{WP_{2021} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times ET_{0,average\ 2001-2018} [mm]}{ET_{0,2021} [mm]}$$

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 as estações 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.

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.

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>

Os resultados médios desta temporada foram comparados com os 75º valores percentil da linha de base, tal como apresentado no Relatório FutureWater 195.¹⁷¹⁸ Isto proporcionou a produtividade média da água entre 2001 e 2017. 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.

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 Resultados climáticos sazonais

3.1 Evapotranspiração de referência

Foram recolhidos dados meteorológicos das estações meteorológicas do TAHMO. As observações foram usadas para calcular a evapotranspiração diária (ET) para os diferentes distritos ao longo da época de chuva de 2021-2022. 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 chuva até que um ET de referência bastante homogêneo foi encontrado no final da estação de chuva. 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.

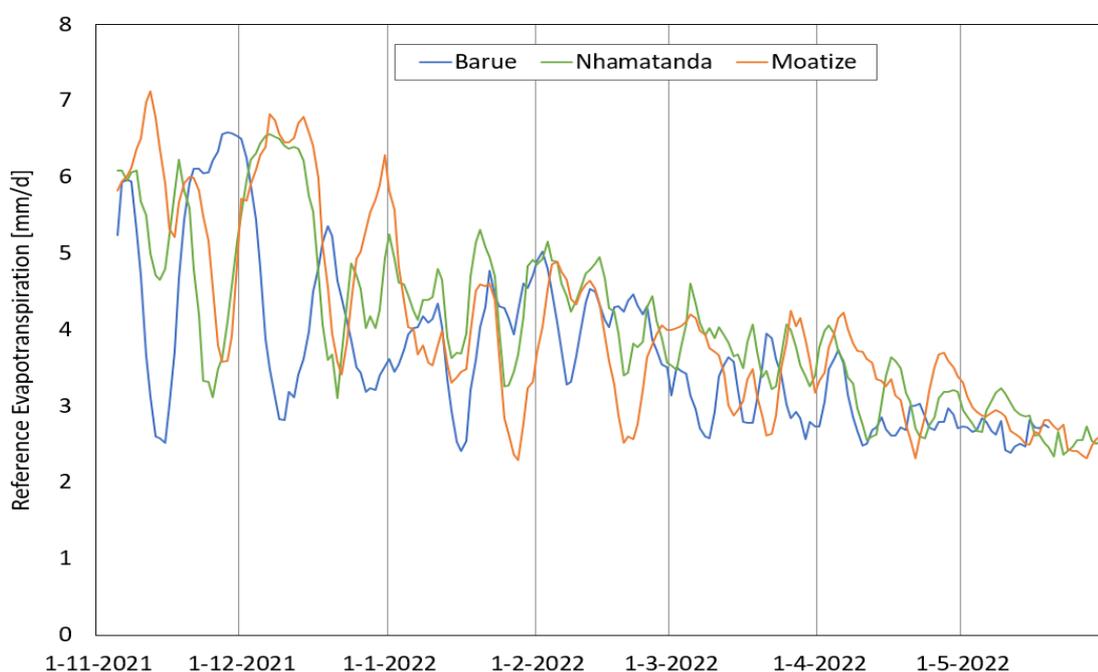


Figura 14. Evapotranspiração média móvel de cinco dias para Moatize e Nhamatanda durante a época de irrigação de 2021 das estações TAHMO e suplementou dados wapor para Moatize e Bárue.

As condições meteorológicas da época de secas de chuva de 2021-2022 foram comparadas com o conjunto de dados históricos (2001-2018) como usado na avaliação de base. 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 chuva 2021-2022 se desviava das condições médias (Figura 15). Em dezembro de 2021, a referência mensal ET em todos os distritos foi significativamente maior do que no conjunto de dados históricos. As diferenças foram maiores no distrito de Moatize, onde foi registada uma diferença de 41 mm. Para a parte restante da estação de chuva, verificou-se que o ET de referência mensal era inferior à média. O ET de referência sazonal total é apresentado no Quadro Tabela 6. Mostra a temporada de 2021 e a média de longo prazo para a estação de chuva. Os valores apresentados são utilizados na normalização dos resultados da produtividade da água, tal como descrito na Secção 2.88 deste documento.

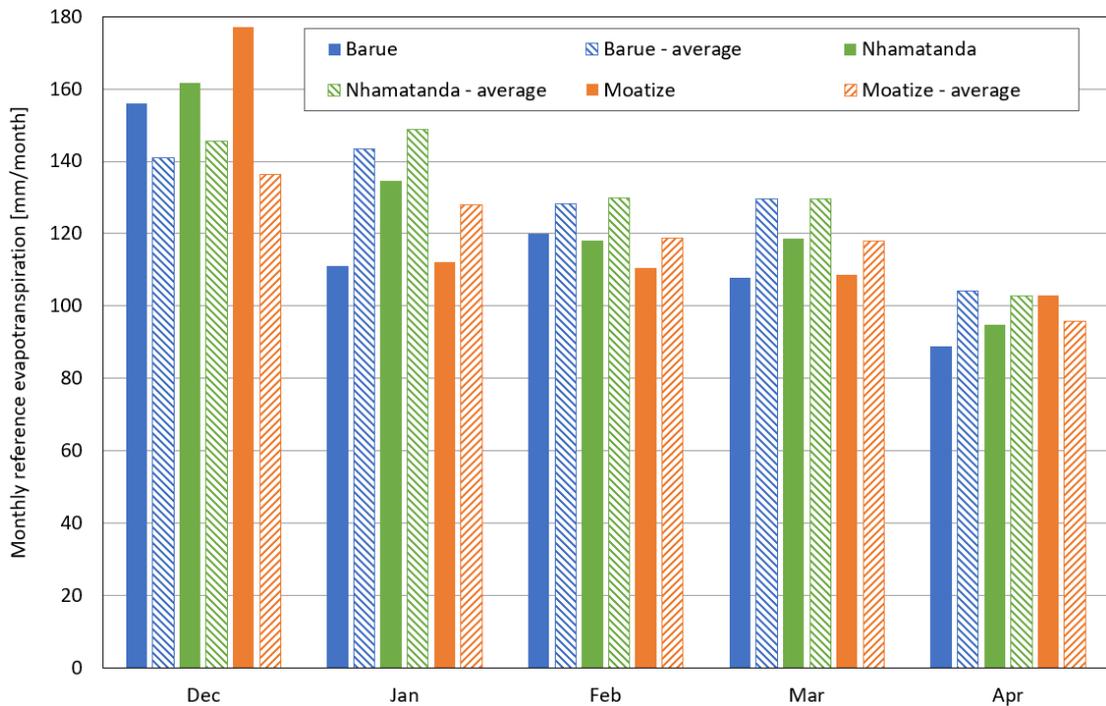


Figura 15. Comparação da evapotranspiração de referência mensal durante a época de chuva de 2021-2022 com a média de longo prazo (2009-2018) calculada a partir das estações meteorológicas TAHMO e dados da WaPOR.

Tabela 6. Evapotranspiração total sazonal de referência para Báruè, Moatize e Nhamatanda durante a época de rega de 2021-2022 (novembro a maio) e média de longo prazo (2001-2018) época de rega

Referência ET [mm]	Báruè	Moatize	Nhamatanda
Época de rega de 2021	537	587	569
Média de longo prazo 2001-2018	605	619	580

3.2 Precipitação

A estação dos ventos de chuva caracteriza-se por fortes e erráticos eventos de chuva. Durante a época de chuva de 2021-2022, ocorreram avarias na estação de Báruè, pelo que os dados de satélite do CHIRPS (conforme fornecidos através do portal WaPOR) foram usados para colmatar as lacunas. A figura 16 mostra a precipitação diária para a estação e mostra que a precipitação ocorreu de forma irregular e com alguns eventos de chuva severa. Especialmente em abril de 2022, Báruè recebe alguns grandes eventos de chuva. Poucos eventos de chuva ocorreram no distrito de Nhamatanda.

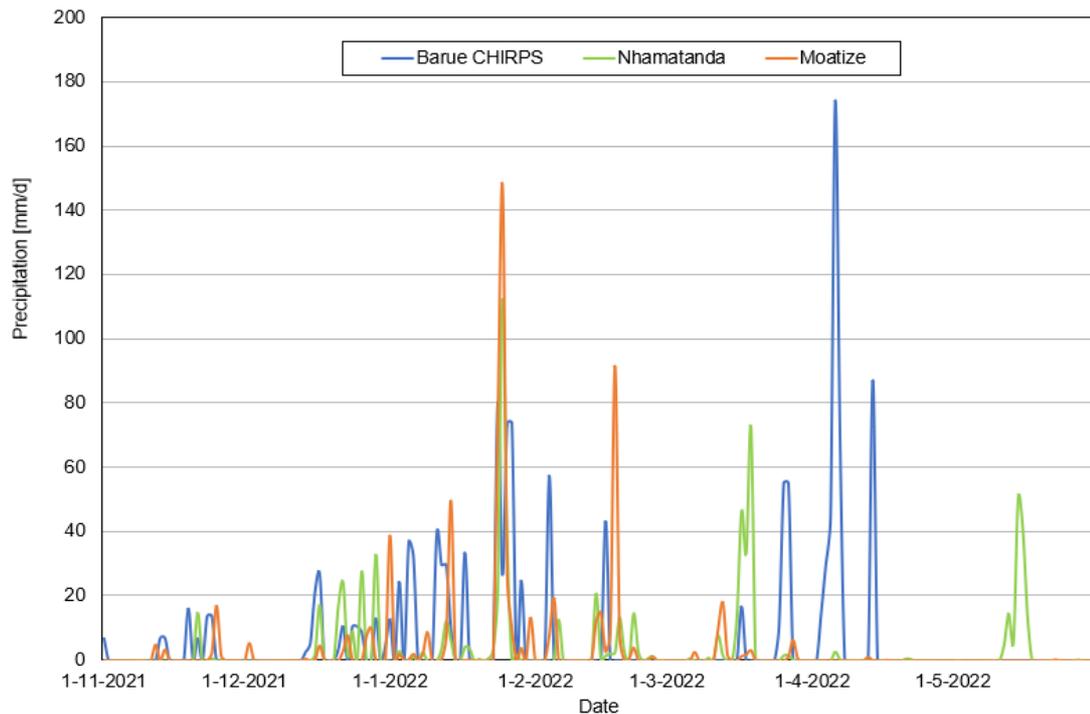


Figura 16. Precipitação diária para a época de chuva de 2021-2022 do TAHMO e CHIRPS

A precipitação mensal total mostra que dezembro de 2021 foi um mês seco em comparação com a média de longo prazo (Figura 17). Janeiro de 2022 estava molhado para Bárue e Nhamatanda, mas não para Moatize. Fevereiro e março foram um pouco mais secos do que a média para todos os distritos. Abril estava muito molhado para Bárue, mas não para os outros distritos. A precipitação sazonal para os três distritos mostra que durante toda a temporada Bárue foi significativamente mais húmida (432 mm) do que a média de longo prazo (Quadro 7). O Moatize e a Nhamatanda eram 43 e 139 mm mais secos, respectivamente.

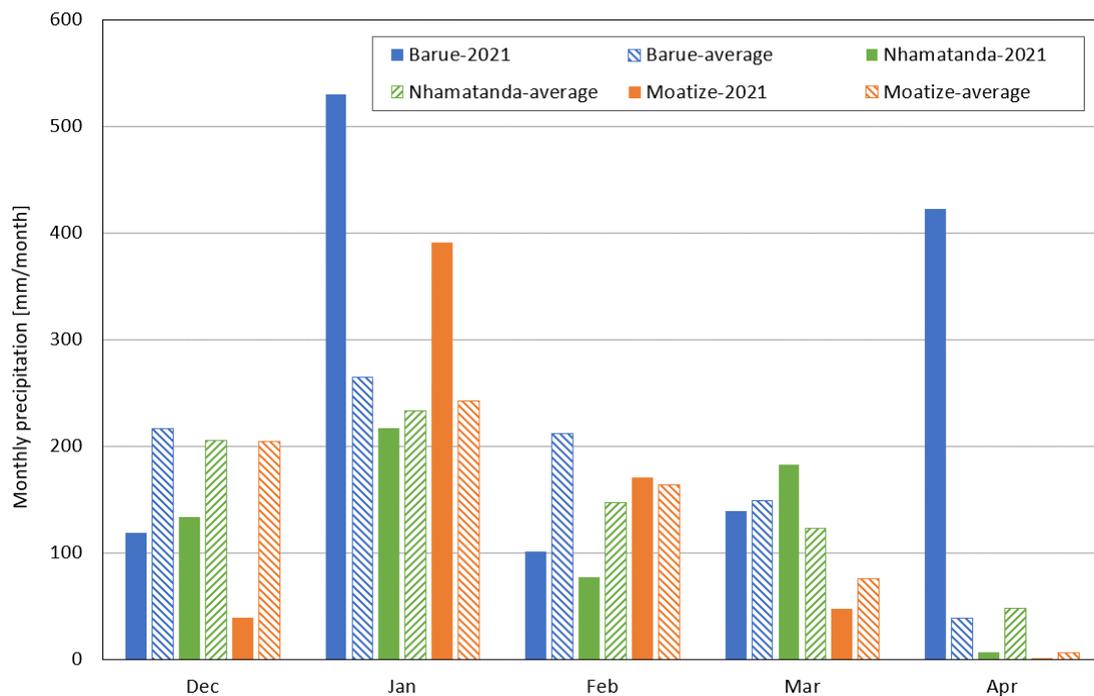


Figura 17. Comparação da precipitação média mensal durante a época de chuva de 2021-2022 com a média de longo prazo (2001-2018) derivada do conjunto de dados CHIRPS.

Tabela 7. Precipitação sazonal para Bárue, Moatize e Nhamatanda durante a época de chuva de 2021-2022 e média de longo prazo (2001-2018) estação chuvosa

Precipitação [mm]	Bárue	Moatize	Nhamatanda
Temporada de Chuva 2021-2022	1312	616	650
Chuva média de longo prazo de 2001-2018	879	755	692

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 chuva de 2021-2022. As decisões de gestão e outros dados de entrada são apresentados no anexo 1 para cada agricultor. Para Bárúè, 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 referência ET do quadro 6 (Capítulo 3), e a metodologia tal como descrito na secção 2. 8 deste documento.

4.1 Bárúè

A curva da copa do PPC Antonio é visualizada na Figura18 e retrata o ciclo de cultivo da cultura. Os pontos azuis indicam frações médias de cobertura de vegetação para diferentes momentos na estação de cultivo. A linha de tendência curvilínea equipada entre os pontos azuis indica a curva da capota. O valor máximo da curva foi de 0,39, indicando uma cobertura máxima de 39% medida na época de crescimento. A fração de 0,39 da cobertura da capota é utilizada para calibrar o modelo AquaCrop e determinar a produtividade específica da água no campo. As curvas das copas dos outros PPCs de Bárúè estão incluídas no anexo 2.

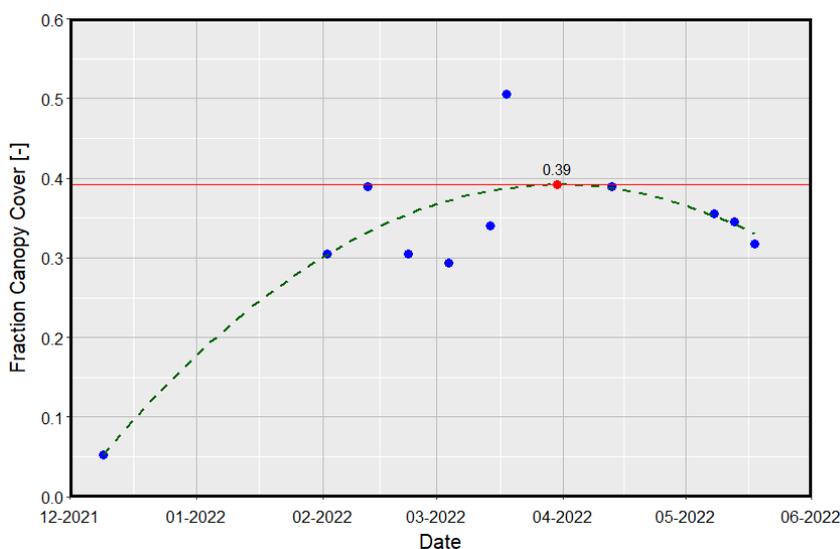


Figura 18. Curva de dossel equipada para PPC Antonio com uma cobertura de capota de fração máxima de 0,39

Os resultados da análise da produtividade da água à escala de campo para os agricultores de Bárúè são apresentados no Quadro 8. Os valores de produtividade da água, normalizados para as condições climáticas locais (secção 2. 8), verificou-se que variaram entre 0,7 e 0,87 kg/m³, indicando um aumento da produtividade da água para todos os agricultores em comparação com os valores de base da estação de chuva. A produtividade média normalizada da água é de 0,8 kg/m³. O aumento percentual da produtividade da água em comparação com a linha de base varia entre +72% e +112%. O agricultor Reunor apresentou valores de produtividade da água ligeiramente diferentes para os três campos analisados, resultantes de condições locais, data de plantação ou densidade de plantação. Verificou-se que o rendimento das culturas secas variava entre 1,59 e 2,12 toneladas/ha. O aumento médio da

produtividade da água em comparação com a linha de base para todos os agricultores participantes em Báruè é de +95%.

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 Báruè

Código PPC	Nome	Tipo de cultura	O Max. CC FS + S	O Max. CC AquaCrop	Produtividade da água [kg/m³]	Produtividade normalizada da água [kg/m³]	% Alterar com linha de base	Rendimento das culturas secas [tonelada/h]
AP_BA_AM-01-01	António	Milho	0.43	0.44	0.71	0.79	+92%	2.45
AP_BA_DC-01-01	Dalton	Milho	0.42	0.44	0.66	0.73	+78%	2.22
AP_BA_FL-01-01	França	Milho	0.43	0.44	0.66	0.73	+78%	2.25
AP_BA_JC-01-01	João	Milho	0.37	0.37	0.76	0.84	+105%	2.46
AP_BA_JC-01-02	João	Milho	0.37	0.37	0.76	0.84	+105%	2.46
AP_BA_LC-01-01	Rio Langton	Milho	0.33	0.33	0.72	0.80	+95%	2.29
AP_BA_ML-01-01	Manuel	Milho	0.4	0.41	0.64	0.70	+72%	2.14
AP_BA_RF-01-01	Reunor	Milho	0.49	0.52	0.78	0.87	+112%	2.79
AP_BA_RF-01-02	Reunor	Milho	0.48	0.49	0.73	0.80	+96%	2.54
AP_BA_RF-01-03	Reunor	Milho	0.4	0.41	0.75	0.83	+102%	2.36
AP_BA_VB-01-01	Vasco	Milho	0.36	0.37	0.79	0.87	+112%	2.41
AP_BA_VB-01-02	Vasco	Milho	0.44	0.44	0.71	0.79	+93%	2.44
AP_BA_VT-01-01	Vitória	Milho	0.36	0.37	0.74	0.82	+100%	2.38

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. PPC Vasco e Joshow campos divididos por uma estrada. O PPC Reunor tem vários 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 chuva 2021-2022

4.2 Moatize

A curva de vela do campo 2 do PCP João está visualizada na Figura 20. O valor máximo da curva foi de 0,41, indicando uma cobertura máxima de 41% medida na época de crescimento. A fração de 0,41 da cobertura da capota é utilizada 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.

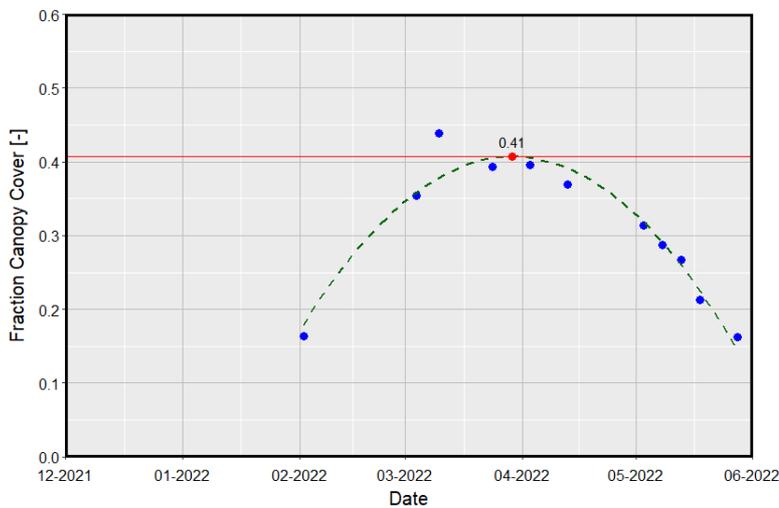


Figura 20. Curva de dossel equipada para PPC Antonio com uma cobertura de capota de fração máxima de 0,41

Os resultados da análise da produtividade da água à escala de campo para os agricultores do Moatize são apresentados no Quadro 9. Durante a época de chuva do milho 2021-2022 foi a única cultura que foi cultivada. Verificou-se que os valores de produtividade da água normalizados para as condições climáticas locais variaram entre 0,59 e 0,74 kg/m³, o que indica um aumento da produtividade da água para todos os agricultores em comparação com os valores de base da estação do ano chuvoso. A produtividade média normalizada da água foi de 0,69 kg/m³. O aumento percentual da produtividade da água em comparação com a linha de base varia entre +72% e +112%. O agricultor João apresentou valores de produtividade da água ligeiramente diferentes para os quatro campos analisados, resultantes da condição local, data de plantação ou densidade de plantação. Verificou-se que o rendimento das culturas secas variava entre 1,59 e 2,12 toneladas/ha. O aumento médio da produtividade da água em comparação com a linha de base para todos os agricultores participantes em Bárue é de +87%.

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	O Max. CC FS + S	O Max. CC AquaCrop	Produtividade da água [kg/m ³]	Produtividade normalizada da água [kg/m ³]	% Alterar com linha de base	Rendimento das culturas secas [tonelada/h]
MO-SA-MC-01-01	Manuel	Milho	0.43	0.44	0.76	0.74	+100%	2.12
MO-MA-JC-01-01	João	Milho	0.39	0.39	0.70	0.69	+86%	1.94
MO-MA-JC-01-02	João	Milho	0.41	0.41	0.73	0.71	+91%	2.01
MO-MA-JC-01-03	João	Milho	0.43	0.44	0.76	0.74	+100%	2.11
MO-MA-JC-01-04	João	Milho	0.38	0.39	0.69	0.67	+81%	1.88
MO-MA-GM-01-01	Rio Girio	Milho	0.38	0.39	0.69	0.69	+85%	1.88
AP_BA_LC-01-01	Vicente	Milho	0.41	0.41	0.73	0.71	+91%	2.01
MO-CA-XT-01-01	Xavier	Milho	0.31	0.32	0.60	0.59	+58%	1.59

Os mapas de campo de produtividade da água são apresentados na Figura 21. Para cada PCP os valores de produtividade da água são visualizados para os diferentes campos. O agricultor João mostra quatro valores diferentes de produtividade da água para campos separados por estradas. Os valores de produtividade da água variam de médio (amarelo) a alto (luz a verde escuro).

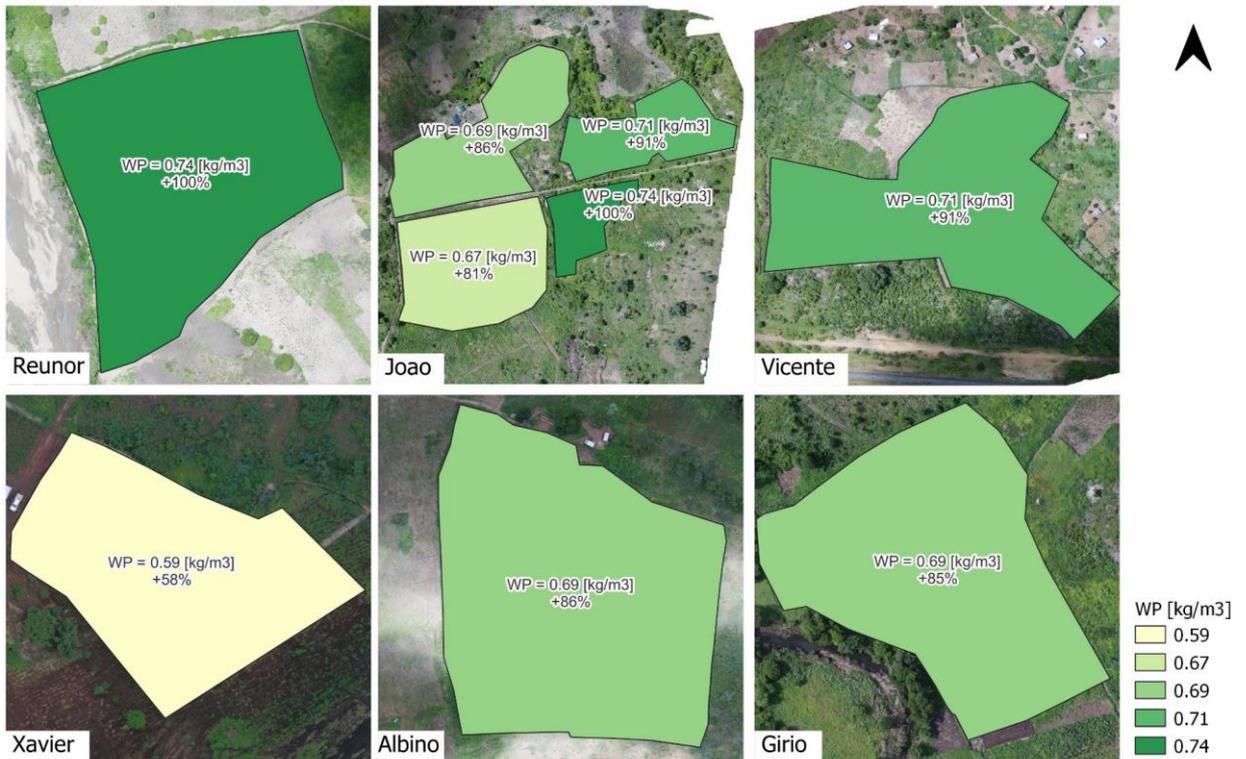


Figura 21. Mapas de produtividade da água no campo dos agricultores em Moatize para a época de chuva 2021-2022

4.3 Nhamatanda

A curva da capota do PCP José 1 está visualizada na Figura 22. O valor máximo da curva foi de 0,39, indicando uma cobertura máxima de 39% medida na época de crescimento. A fração de 0,39 da cobertura da capota é utilizada para calibrar o modelo AquaCrop e determinar a produtividade específica da água no campo. As curvas das copas dos outros PPCs de Bárue estão incluídas no anexo 2.

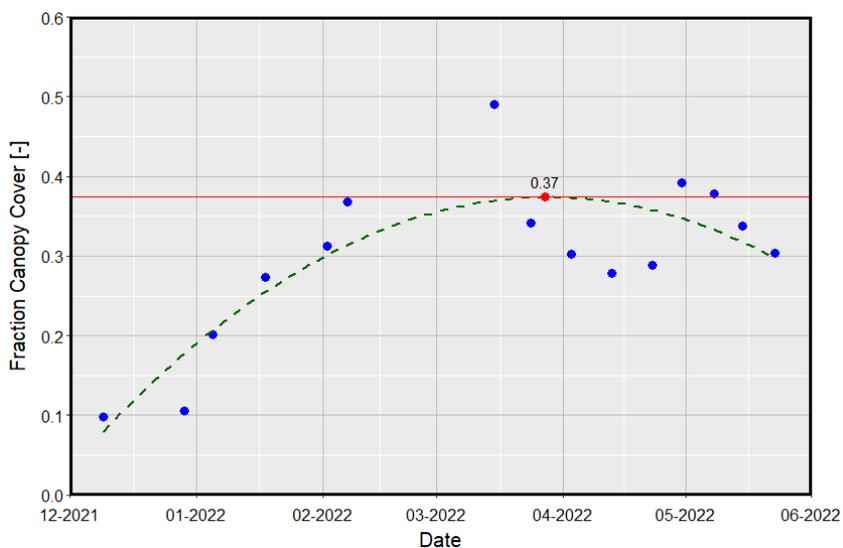


Figura 22. Curva de vela equipada para PPC José 1 com uma fração máxima de cobertura de vela de 0,37

Os resultados da análise da produtividade da água à escala de campo para os agricultores de Nhamatanda são apresentados no quadro 10. Durante a época de chuva do milho 2021-2022 foi a única

cultura que foi cultivada. Verificou-se que os valores de produtividade da água normalizados para as condições climáticas locais variaram entre 0,53 e 0,78 kg/m³, o que indica um aumento da produtividade da água para todos os agricultores em comparação com os valores de base da estação de chuva. A produtividade média normalizada da água foi de 0,64 kg/m³. O aumento percentual da produtividade da água, em comparação com a linha de base, varia entre +62% e +136%. O agricultor Lourenço apresentou valores de produtividade da água ligeiramente diferentes para os dois campos analisados, resultantes de condições locais, data de plantação ou densidade de plantação. Verificou-se que o rendimento das culturas secas variava entre 1,60 e 2,49 toneladas/ha. O aumento médio da produtividade da água é de +95%.

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	O Max. CC FS + S	O Max. CC AquaCrop	Produtividade da água [kg/m ³]	Produtividade normalizada da água [kg/m ³]	% Alterar com linha de base	Rendimento das culturas secas [tonelada/h]
NH-LM-JD-01-01	José 1	Milho	0.37	0.38	0.62	0.65	+97%	2.00
NH-LM-LL01-01	Lourenço	Milho	0.27	0.27	0.54	0.56	+70%	1.60
NH-LM-LL-01-02	Lourenço	Milho	0.24	0.26	0.53	0.55	+68%	1.85
NH-LA-AM-01-01	Rio Armando	Milho	0.31	0.32	0.54	0.56	+71%	1.67
H-NS-RB-01-01	Rui	Milho	0.47	0.46	0.72	0.75	+127%	2.39
NH-MP-MN-01-01	Machoca	Milho	0.39	0.39	0.74	0.78	+136%	2.47
NH-NS-FA-01-01	Francisco	Milho	0.42	0.41	0.74	0.77	+135%	2.49
NH-NS-JM-01-01	José 2	Milho	0.36	0.36	0.51	0.53	+62%	1.66
NH-NC-ZF-01-01	Zacarias	Milho	0.37	0.37	0.61	0.63	+92%	2.01

Os mapas do campo da produtividade da água são apresentados na Figura23. Para cada PCP os valores de produtividade da água são visualizados para os diferentes campos. O agricultor Lourenço mostra dois valores diferentes de produtividade da água para campos separados. Os valores de produtividade da água variam de médio (amarelo) a alto (luz a verde escuro).

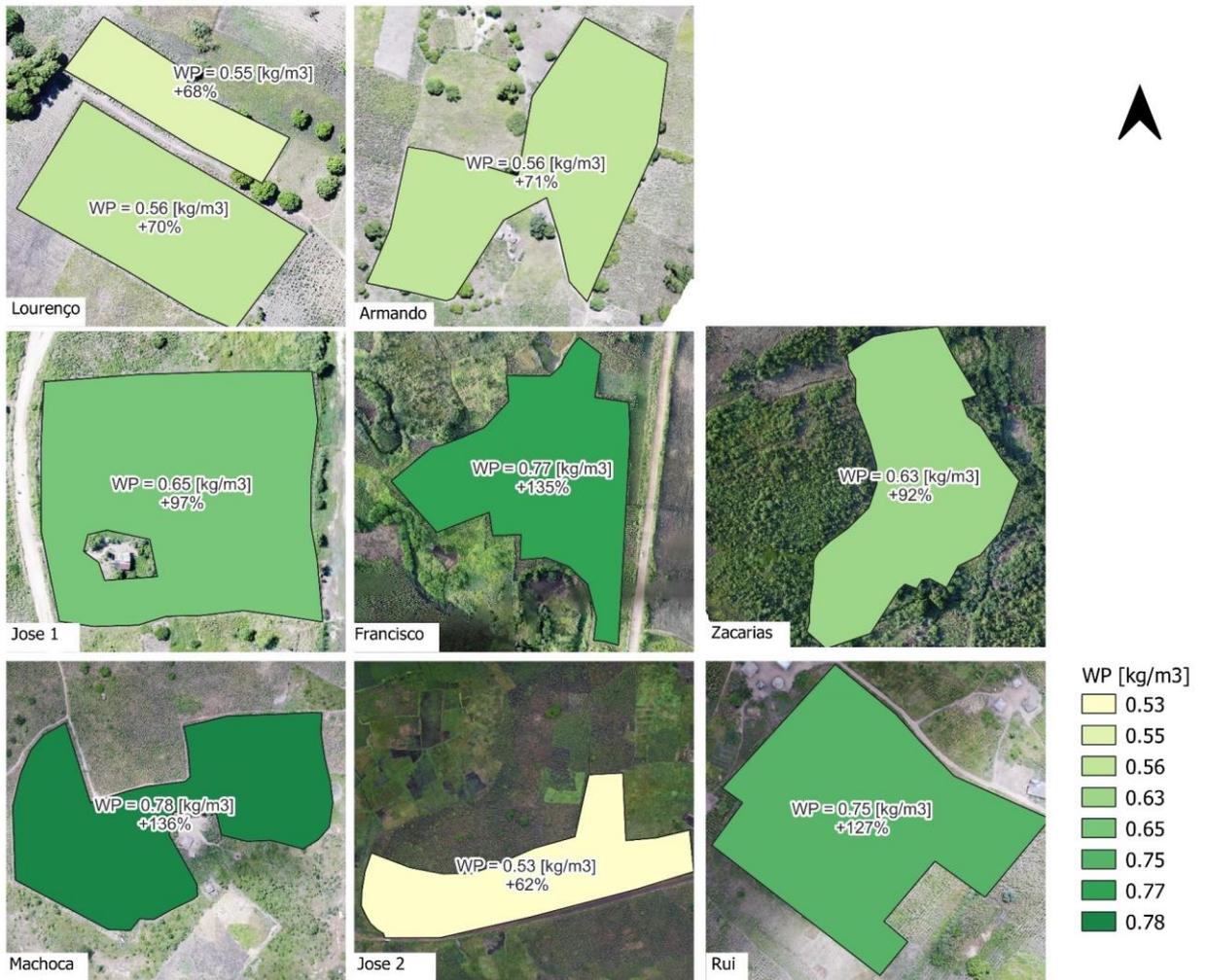


Figura 23. Mapas de produtividade da água de campo dos agricultores em Nhamatanda para a época de chuva 2021-2022

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 estação de chuva para os meses de novembro de 2021 a abril 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 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 I. 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 também os mais elevados a montante, mas os valores de Nhamatanda III baseiam-se no raio de 300 ha em torno de apenas um agricultor.

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	463	8	1.79
	Bárue II	431	7	1.60
	Bárue III	577	9	1.62
	Média	490	8	1.67
Moatize	Moatize I	466	4	0.88
	Moatize II	506	5	1.00
	Moatize III	535	6	1.06
	Média	502	5	0.98
Nhamatanda	Nhamatanda I	555	5	0.88
	Nhamatanda II	531	5	0.93
	Nhamatanda III	577	7	1.18
	Média	554	6	1.00

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

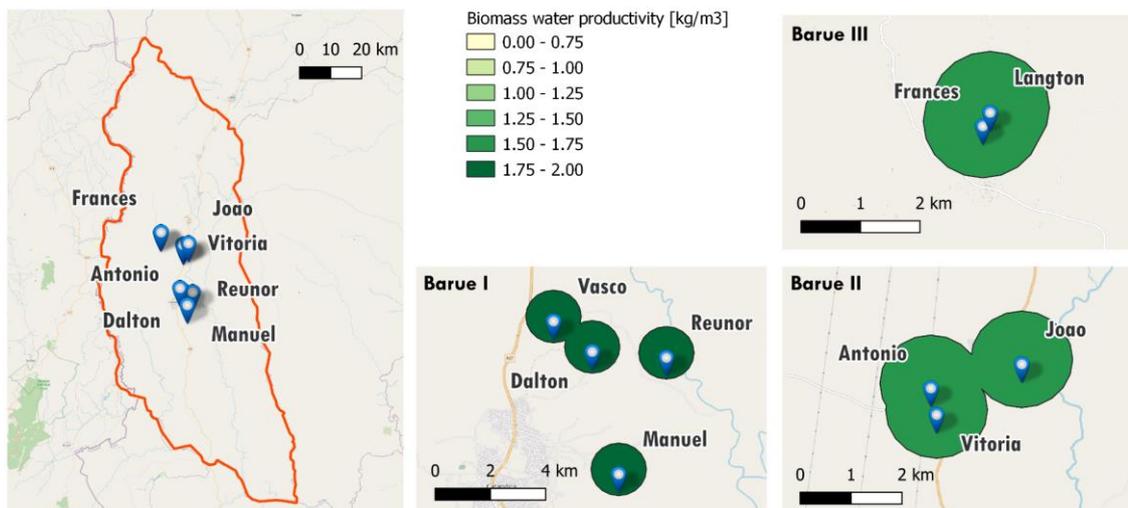


Figura 24. Produtividade da água a biomassa (kg/m³) para sub-bacias em Bárue para a época de chuva 2021-2022

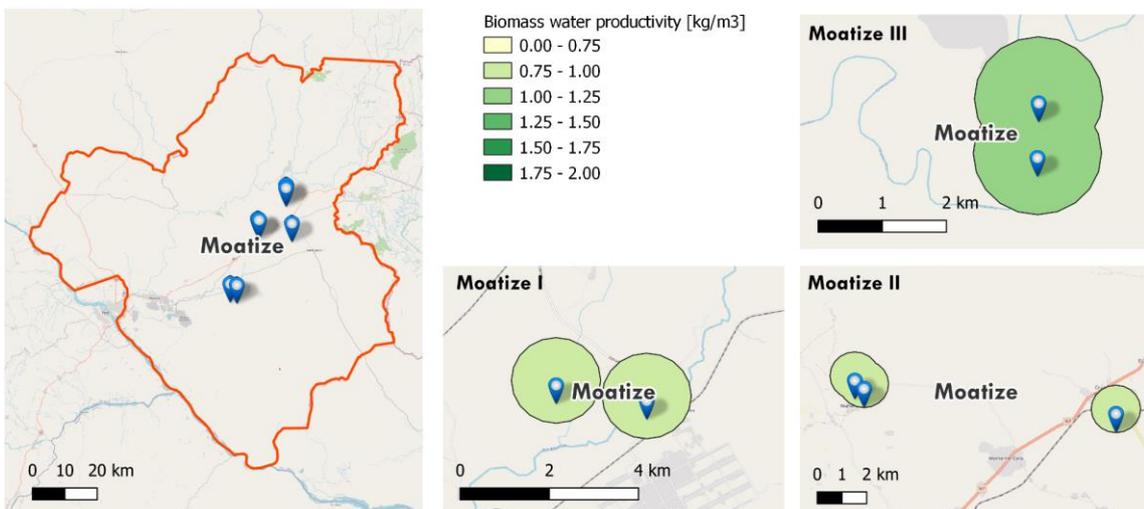


Figura 25. Produtividade da água a biomassa (kg/m³) para sub-bacias em Moatize para a época de chuva 2021-2022

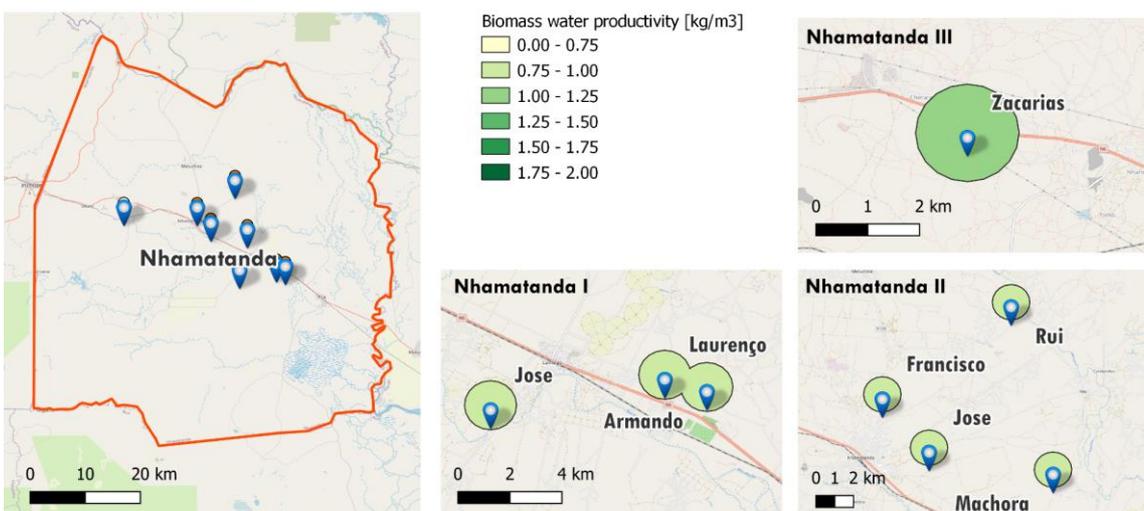


Figura 26. Produtividade da água a biomassa (kg/m³) para sub-bacias em Moatize para a época de chuva 2021-2022

6 Resultados da produtividade da água à escala da bacia

As bacias foram delineadas para cada distrito como mostrado no Figura 6 baseada 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 quadro 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 exibe 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	475	482	566
	Percentil 10	349	392	488
	Percentil 90	602	576	659
Produção de biomassa [tonelada/ha]	Média média	8.1	7.3	6.5
	Percentil 10	6.0	6.0	5.4
	Percentil 90	10.1	8.7	7.9
Produtividade da água [kg/m ³]	Média média	1.59	1.51	1.14
	Percentil 10	1.44	1.35	1.06
	Percentil 90	1.73	1.70	1.30

A Figura 20 exibe os mapas de produtividade da água de cada bacia. Em Bárue, a produtividade da água a jusante mostra mesmo distribuição, mas mais a montante pode ser observada uma diminuição dos valores de produtividade da água. 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.

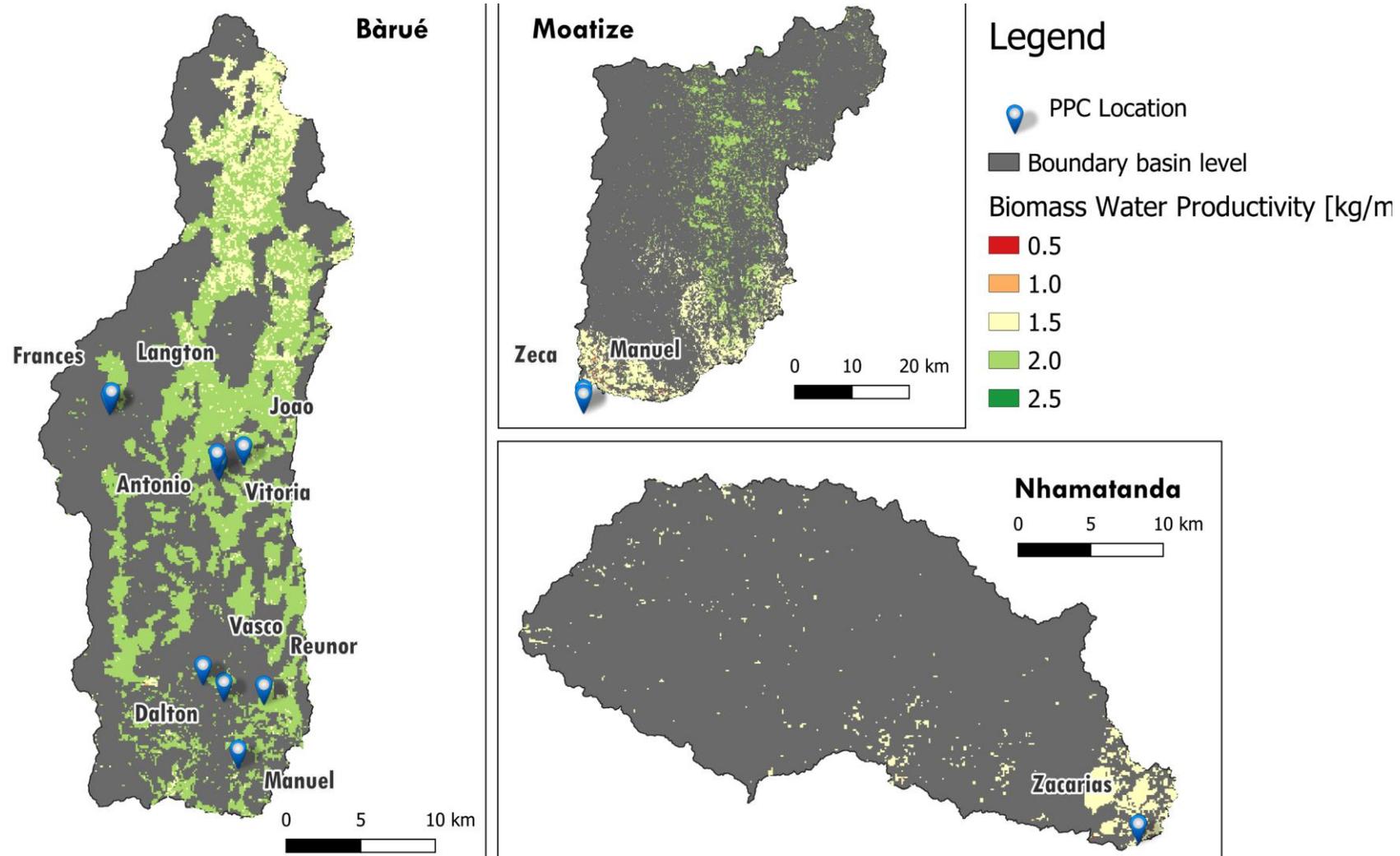


Figura 27. Produtividade sazonal da água de biomassa (kg/m³) à escala de bacia para os pixéis de cultivo em Bârué, Moatize e Nhamatanda para a época de irrigação de 2021

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 mudanças 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 Quadro 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 de 75th 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 12.9. A melhoria média global da produtividade da água alcançada à escala de campo dos PPCs é de +92%. O maior aumento foi observado em Bárue e o mais baixo em Moatize. Verall, as melhorias na produtividade da água indicam uma boa realização dos objetivos definidos no logframe tal como apresentados na secção 1. Três deste relatório. Em comparação com a época de secas de chuva anterior (2020-2021), que reportou um aumento médio da produtividade da água em escala de campo de +68%, esta estação de água com chuvas mostra uma notável mudança de melhorias e um impacto positivo das práticas de gestão agrícola na produtividade da água. ²

Tabela 13. Produtividade normalizada da água do milho (em kg/m³) para a época de chuva de 2021-2022 em comparação com os valores de base

	Bárue	Moatize	Nhamatanda	No geral
Produtividade da água de base				
Alcance	0.25 – 0.44	0.23 – 0.41	0.21 – 0.37	
75 th Percentil	0.41	0.37	0.33	
Temporada de chuva 2021-2022 produtividade da água				
Alcance	0.70 – 0.87	0.60 – 0.76	0.51 – 0.74	
Média (média)	0.80	0.69	0.64	
Variação relativa com linha de base (%)	+95%	+87%	+95%	+92%

Uma vez que esta é a última temporada de chuva 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 representados na Figura28 onde os valores na tabela indicam a produtividade da água da estação de chuva correspondente naquele distrito. Os valores situados no topo das barras indicam a mudança de percentual a partir da linha de base.

Todos os distritos viram uma mudança positiva na produtividade da água ao longo dos anos. A produtividade da água de Bárue e Nhamatanda aumentou em +95%, enquanto a Moatize melhorou em +87%. 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

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.

² Van Opstal, J.D., M. de Klerk, V. Hollander J.E. Beard. 2021. Análise da Produtividade da Água: Rainfed Season 2020-2021. Relatório FutureWater 218.

provavelmente resultado de diferentes práticas de gestão agrícola ou de métodos de análise ligeiramente alterados.

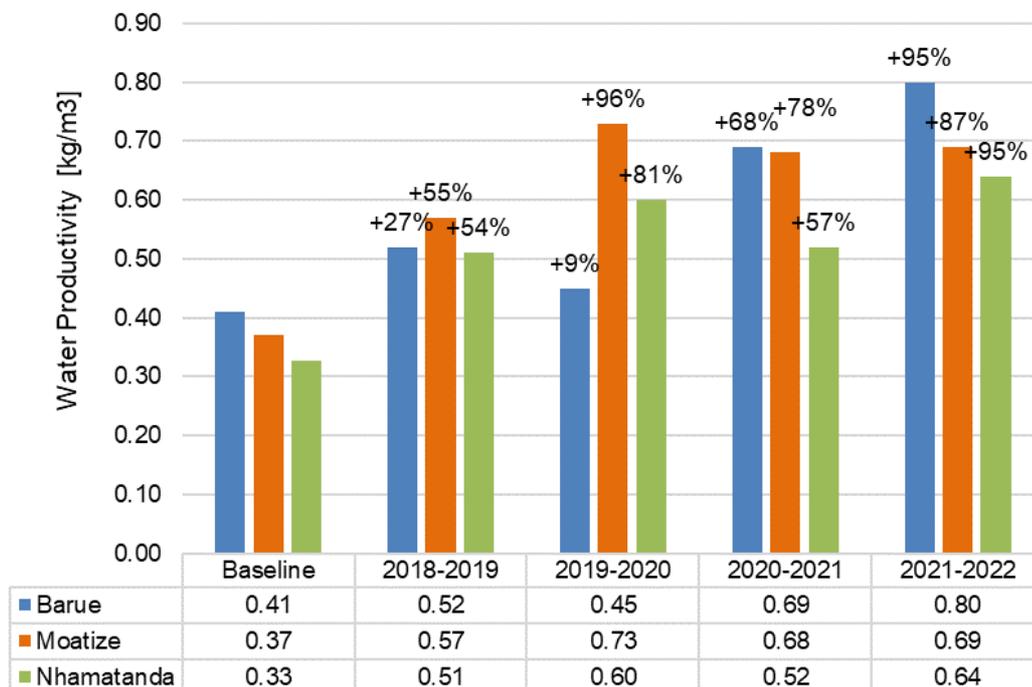


Figura 28. Visão geral dos resultados da produtividade da água para todas as avaliações desde a linha de base.

7.2 Escala sub-bacia

A produtividade da água à escala comunitária da sub-bacia 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. Para um relatório de base foram usados os dados da WaPOR e os valores médios de 2015 a 2018 para a estação de chuva (novembro a maio).

O quadro 14 apresenta os resultados da linha de base e comparação com os resultados da temporada 2021-2022. O aumento global da produtividade da água foi observado como +30% para báruè, +40% para o Moatize, e +48% para 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 +40%, 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 14. Produtividade da água a biomassa (kg/m³) para a época de chuvas 2021-2022 à escala das sub-bacias em comparação com a linha de base de 2015-2020, tal como deriva do portal de dados WaPOR

	Báruè	Moatize	Nhamatanda	No geral
Média de base 2015 - 2018	1.56	0.87	0.81	
Temporada de Chuva 2021-2022	1.67	0.98	1.00	
Temporada de Chuva 2021-2022 (normalizada)	2.03	1.22	1.20	
Varição relativa com linha de base (%)	+30%	+40%	+48%	+40%

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 chuva 2018-2019 incluiu uma análise sub-bacia, apenas os últimos três anos foram incluídos. Estes resultados são retratados na Figura 29 onde os valores no quadro indicam a produtividade da água da estação de chuva correspondente naquele distrito. Os valores situados no topo das barras indicam a mudança de percentual a partir da linha de base.

Todos os distritos viram uma mudança positiva na produtividade da água ao longo dos anos. A produtividade da água de Bárue aumentou +30%, enquanto o Moatize melhorou +40% e a Nhamatanda melhorou em +48%. 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 resultado de diferentes práticas de gestão agrícola ou de métodos de análise ligeiramente alterados. Além disso, os resultados de Bárue foram na sua maioria inferiores ao Desatize e Nhamatanda, devido a uma maior produtividade inicial da água em Bárue.

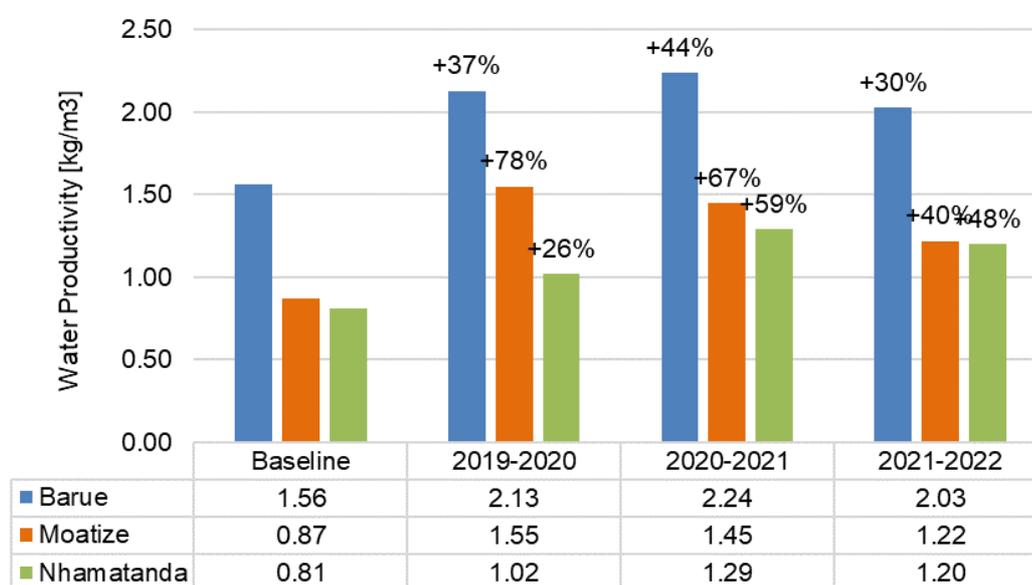


Figura 29. Visão geral dos resultados da produtividade da água para a escala da sub-bacia

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 pixels das terras de cultivo nas bacias selecionadas do projeto para a época de rega. O quadro 15 apresenta os valores da produtividade da água a biomassa após a normalização para as condições meteorológicas de 2021 e comparando com os valores de base. Percebido-se um aumento médio da produtividade da água a biomassa de +20%, que variava entre +11% e +30% para os diferentes distritos. O anterior relatório da época de rega (2020) indicava um aumento global da produtividade da água em biomassa de +16%, indicando que a época de secas de chuva 2021-2022 teve um aumento ainda maior da produtividade da água à escala da bacia. Esta é uma tendência positiva e requer uma investigação mais aprofundada para determinar a magnitude do aumento relacionado com as intervenções de campo e a adoção pela comunidade.¹

¹ Van Opstal, J.D., M. de Klerk, A. Kaune, C. Nolet, J.E. Beard. 2021. Análise da Produtividade da Água: Temporada de Rega 2020. Relatório FutureWater 218.

Tabela 15. Produtividade da água a biomassa (kg/m³) para a época de chuva 2021-2022 à escala da bacia em comparação com a linha de base

	Báruè	Moatize	Nhamatanda	No geral
Média de base 2001-2018	1.61	1.57	1.18	
Temporada de Chuva 2021-2022	1.59	1.51	1.14	
Temporada de Chuva 2021-2022 (normalizada)	2.09	1.88	1.31	
Variação relativa com linha de base (%)	+30%	+20%	+11%	+20%

Por último, uma avaliação global da alteração da produtividade da água realizada para as análises das bacias. Estes resultados são retratados na Figura 30 onde os valores no quadro indicam a produtividade da água da época de secas de chuva correspondente naquele distrito. Os valores situados no topo das barras indicam a mudança de percentual a partir da linha de base.

Todos os distritos registaram uma mudança positiva na produtividade da água ao longo dos anos, mas a bacia do Moatize registou uma diminuição de 5% na temporada 2020-2021. A produtividade da água de Báruè aumentou +30%, o moatize melhorou +20% e a Nhamatanda aumentou +11%. 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.

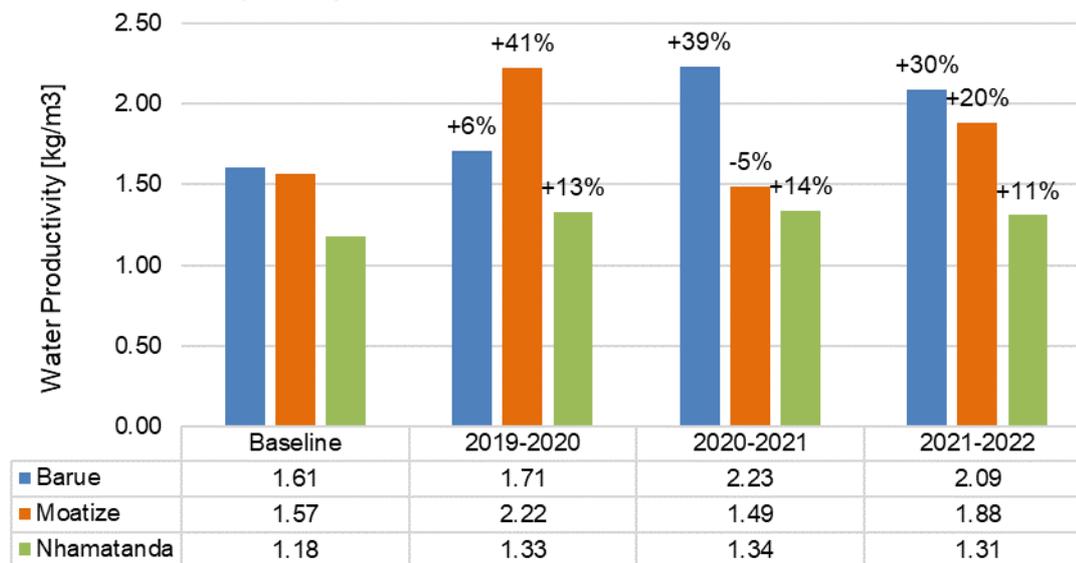


Figura 30. Visão geral dos resultados da produtividade da água para a bacia

8 Observações finais

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, usando os dados disponíveis no campo, imagens de sensores voadores e conjuntos de dados de detecção remota de acesso aberto de WaPOR e Sentinel 2.

A produtividade da água em escala de campo apresentou resultados para 23 agricultores que foram monitorizados ao longo da época de secas de chuva de 2021-2022 no âmbito do projeto APSAN-Vale. A produtividade da água foi calculada para o milho, a única cultura que foi analisada durante esta época de cultivo. Verificou-se que a produtividade da água da produção de milho variava entre 0,70 e 0,87 kg/m³ em Bárue, 0,60 a 0,76 kg/m³ em Moatize e 0,51-0,74 kg/m³ em Nhamatanda. Após a normalização das condições climáticas, verificou-se que o aumento da produtividade global da água específica para as culturas foi de +95% em Bárue, +87% no Moatize e +95% em Nhamatanda, resultando num aumento médio de +92% em comparação com os valores de base. Trata-se de um aumento de +24% em relação ao anterior relatório da temporada de chuva (2020-2021) queatinge a meta definida para 2021-2022 de +25%, conforme indicado no diário do projeto.

Os resultados da produtividade da água no terreno dão uma boa indicação das tendências na alta e baixa produtividade da água. Estes resultados serão combinados com os dados de monitorização dos parceiros do consórcio APSAN-Vale que indicam a adoção de práticas destes agricultores e as sessões de formação que estiveram presentes. Num relatório de acompanhamento, será feita uma análise preliminar sobre a determinação do impacto das intervenções no rendimento das culturas e na 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 Bárue; aqui os valores mais elevados são observados em Bárue I a 1,79 kg/m³. Verificou-se que a produtividade da água a biomassa variava entre 1,60 e 1,79 kg/m³ em Bárue, de 0,88 a 1,06 kg/m³ em Moatize, e 0,88 a 1,18 kg/m³ em Nhamatanda. A variação relativa da produtividade da água em comparação com os valores de base é de +30%, +40% e +48% para Bárue, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. O aumento global da produtividade da água estimado a nível da sub-bacia (comunidade) é de +39%.

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 +30%, +20%, e +11% para Bárue, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. O aumento médio da produtividade da água a biomassa foi de +20% para todos os distritos juntos.

Anexo 1 - Visão geral dos dados de entrada

Tabela 16. Dados de entrada de campo para Báruè

Year	Irrigation / rained	Region	ID plot	Name farmer	Lat	Lon	Soil texture (sandy/loam, etc)	Stoniness (low, moderate, high)	Crop type (EN)	Crop type (PT)	Planting date	Harvest date (optional) Data de Colheita	Plant area (cm/cm)	Planting density (plant/m ²)	Planting density (plant/ha)	Fertilizer use (low, moderate, optimal)	Mulching yes/no	Weed mgt (low, moderate, high)	Runoff mgt (yes/no)	Other relevant practices	Irrigation (yes/no)
2021	rained	Baruè	AP_BA_AC1-01	Ananias Chicum	-18.018	33.240	sandy clay	low	soybean	soja	10-Feb-2021	11-jun	50x30	6.7	66666.7	optimal	no	Low	yes		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_AM-01	Antonio Matavel	-17.860	33.203	sandy clay	low	maize	milho	5-Dec-2021	1-mei	90x70	1.6	15873.0	no	no	high	no		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_AM-01	Antonio Matavel	-17.860	33.203	sandy clay	low	pigeon pea	feijao boer	12-Feb-2022	15-mei	90x70	1.6	15873.0	no	no	low	no		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_DC-01	Dalton Cassuda	-18.004	33.206	sandy clay	low		milho	28-Jan-2022	28-mei	90x70	1.6	15873.0	no	no	moderate	no		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_FL-01	Frances Lapson	-17.823	33.134	sandy clay	low	maize	milho	20-Jan-2022	4-jun	90x70	1.6	15873.0	no	no	moderate	no		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_JC-01	Joao Cebola	-17.855	33.219	sandy clay	low	maize	milho	1-Jan-2022	16-mei	90x70	1.6	15873.0	optimal	no	high	yes		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_JC-01	Joao Cebola	-17.855	33.219	sandy clay	low	maize	milho	1-Dec-2021	16-mei	90x70	1.6	15873.0	optimal	no	high	yes		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_JC-01	Joao Cebola	-17.855	33.219	sandy clay	low	soybean	soja	10-Jan-2022	N/A	50x30	6.7	66666.7	optimal	no	low	yes		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_LC-01	Langton Charles	-17.821	33.135	sandy clay	low	maize	milho	18-Dec-2021	1-apr	90x70	1.6	15873.0	no	no	low	no		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_ML-01	Manuel Lamione	-18.046	33.216	sandy clay	low	maize	milho	28-Dec-2021	12-mei	90x70	1.6	15873.0	no	no	moderate	no		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_RF-01	Reunor Finiasse	-18.006	33.232	sandy clay	low	maize	milho	17-Nov-2021	17-mrt	90x70	1.6	15873.0	no	no	moderate	yes		yes
2022	rained	Baruè	AP_BA_RF-01	Reunor Finiasse	-18.006	33.232	sandy clay	low	maize	milho	17-Nov-2021	17-mrt	90x70	1.6	15873.0	no	no	moderate	yes		yes
2022	rained	Baruè	AP_BA_RF-01	Reunor Finiasse	-18.006	33.232	sandy clay	low	maize	milho	10-Dec-2021	9-apr	90x70	1.6	15873.0	no	no	moderate	yes		yes
2022	rained	Baruè	AP_BA_RF-01	Reunor Finiasse	-18.006	33.232	sandy clay	low	cabbage	repolho	17-Nov-2021		90x70	1.6	15873.0	no	no	moderate	yes		yes
2022	rained	Baruè	AP_BA_RF-01	Reunor Finiasse	-18.006	33.232	sandy clay	low	tsunga	tsunga		N/A					no	moderate	yes		yes
2022	rained	Baruè	AP_BA_RF-01	Reunor Finiasse	-18.006	33.232	sandy clay	low	pepper	pimenta	17-Nov-2021		90x70	1.6	15873.0	no	no	moderate	yes		yes
2022	rained	Baruè	AP_BA_VB-01	Vasco Bonjesse	-17.994	33.193	sandy clay	low	maize	milho	4-Dec-2021	3-apr	90x70	1.6	15873.0	no	no	high	no		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_VB-01	Vasco Bonjesse	-17.994	33.193	sandy clay	low	maize	milho	4-Dec-2021	3-apr	90x70	1.6	15873.0	no	no	high	no		no
2022	rained	Baruè	AP_BA_VB-01	Vasco Bonjesse	-17.994	33.193	sandy clay	low	pigeon pea	feijao	4-Feb-2022		90x70	1.6	15873.0	no	no	low	no		no
															0.0						
2022	rained	Baruè	AP_BA_VT-01	Vitoria Tendai	-17.865	33.203	sandy clay	low	maize	milho	28-Dec-2021	12-mei	90x70	1.6	15873.0	no	no	low	no		no

Tabela 17. Dados de entrada de campo para o Moatize

Year	Irrigation / rainfed	Region	ID plot	Name farmer	Soil		Crop				Field mgt					Irrigation (yes/no)	
					Soil texture (sandy loam, etc)	Stoniness (low, moderate, high)	Crop type (EN)	Crop type (PT)	Planting date	Harvest date (optional) Data de Colheita	Fertilizer use (low, moderate, optimal)	Mulching yes/no	Weed mgt (low, moderate, high)	Runoff mgt (yes/no)	Other relevant practices		
2021-2022	Rainfed	Moatize	MO-SA-MC-01-01	Manuel Char	sandy clay	low	Maize	Milho	4-jan			Optimal	no	Low	no		no
2021-2022	Rainfed	Moatize	MO-SA-ZM-01-01	Zeca Marceli	sandy clay	low	Soybean	Soja	10-jan			Optimal	no	Low	no		no
2021-2022	Rainfed	Moatize	MO-MA-JC-01-01	Joao Cheren	sandy clay	Moderate	Maize	Milho	4-jan			optimal	no	Low	no		no
2021-2022	Rainfed	Moatize	MO-MA-GM-01-01	Girio Mussar	sandy clay	low	Maize	Milho	4-jan			Optimal	no	Low	no		no
2021-2022	Rainfed	Moatize	AP_BA_LC-01-01	Vicente Jurio	sandy clay	Moderate	Maize	Milho	4-jan			Optimal	no	Moderate	no		no
2021-2022	Rainfed	Moatize	MO-CA-XT-01-01	Xavier Tomas	sandy clay	Low	Maize	Milho	4-jan			optimal	no	Low	no		no
2021-2022	Rainfed	Moatize	MO-CA-AB-01-01	Albino Banda	sandy clay	low	Maize	Milho	4-jan			optimal	no	Low	no		no

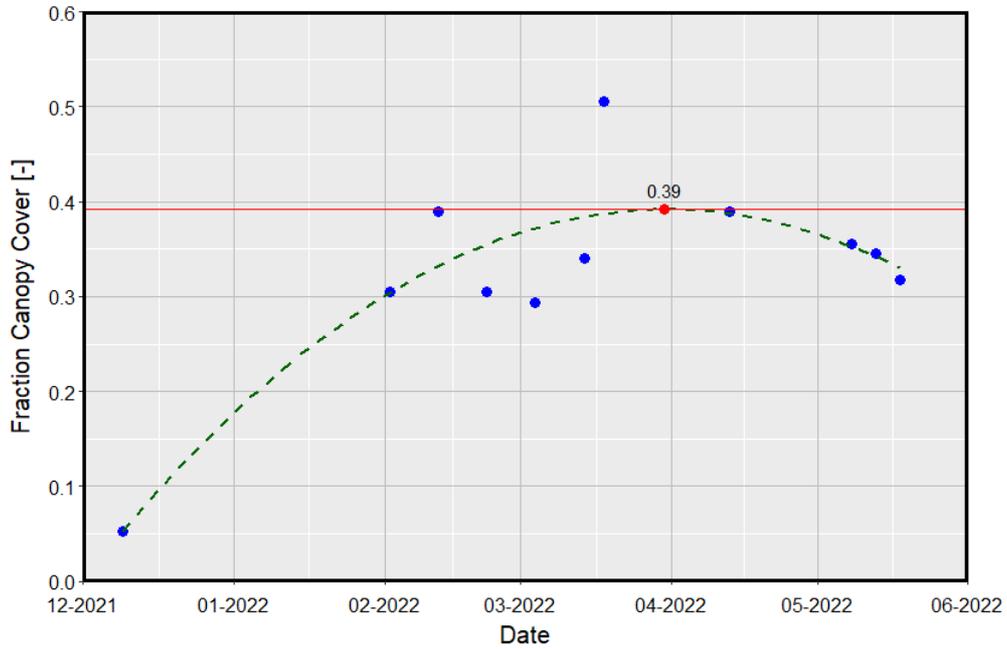
Tabela 18. Dados de campo de entrada para Nhamatanda

Year	Irrigation / rainfed	Region	ID plot	Name farmer	Soil texture (sandy loam, etc)	Stoniness (low, moderate, high)	Crop type (EN)	Crop type (PT)	Planting date	Harvest date (optional)	Planting density [plants/m ²]	Fertilizer use (low, moderate, optimal)	Mulching yes/no	Weed mgt (low, moderate, high)	Runoff mgt (yes/no)
2021-2022	Rainfed	Nhamatanda	NH-LM-JD	Jose Domingos	sandy clay	moderate	Maize	Milho	23.12.2022	25.04.2022	50x50	low	no	Moderate	no
2021-2022	Rainfed	Nhamatanda	NH-NM-LL	Lourenço Lampiao	sandy clay	moderate	Maize	Milho	16.12.2022	30.04.2022	80x50	low	no	Moderate	no
2021-2022	Rainfed	Nhamatanda	NH-LA-AM	Armando Malate	sandy clay	moderate	Maize	Milho	01.12.2022	17.04.2022	80x50	low	no	Moderate	no
2021-2022	Rainfed	Nhamatanda	NH-NS-RB	Rui Bassopa	sandy clay	moderate	Maize	Milho	20.12.2022	08.04.2022	80x50	low	no	Moderate	no
2021-2022	Rainfed	Nhamatanda	NH-MP-MP	Machoca Ntequenha	sandy clay	moderate	Maize	Milho	25.12.2022	17.04.2022	80x50	low	no	Moderate	no
2021-2022	Rainfed	Nhamatanda	NH-NS-JM	Jose Mamuel	sandy clay	moderate	Maize	Milho	15.12.2022	19.05.2022	80x50	low	no	Moderate	no
2021-2022	Rainfed	Nhamatanda	NH-NC-ZF	Zacarias Fulene	sandy clay	moderate	Maize	Milho	08.12.2022	15.04.2022	80x50	low	no	Moderate	no
2021-2022	Rainfed	Nhamatanda	Nh-NC-FA	Francisco Augusto	sandy clay	moderate	Maize	Milho	23.12.2022	26.24.2022	80x50	low	no	Moderate	no

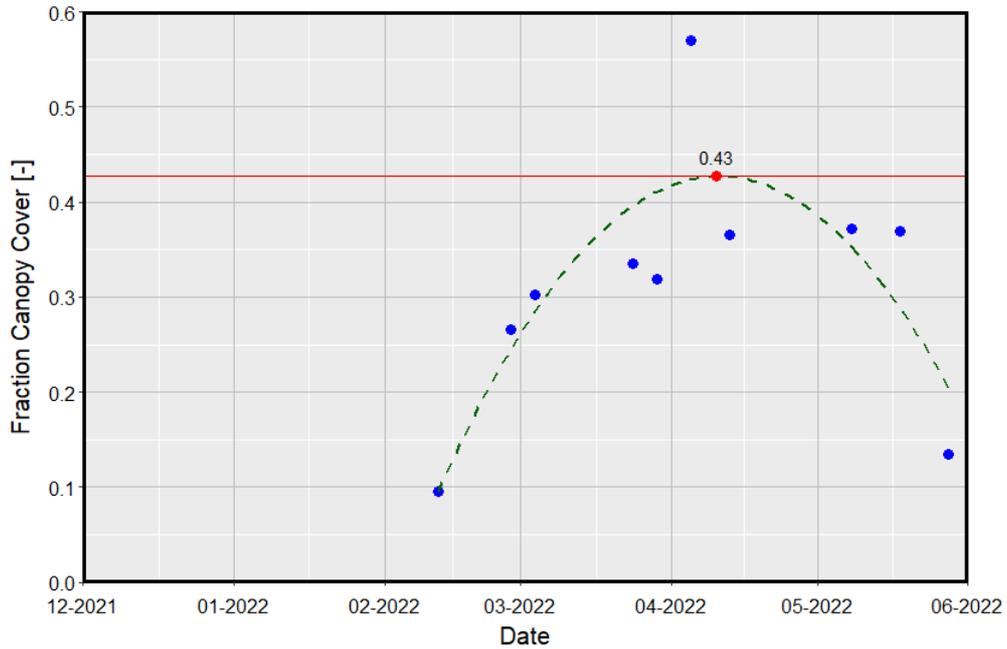
Anexo 2 - Curvas de dossel equipadas

Báruè

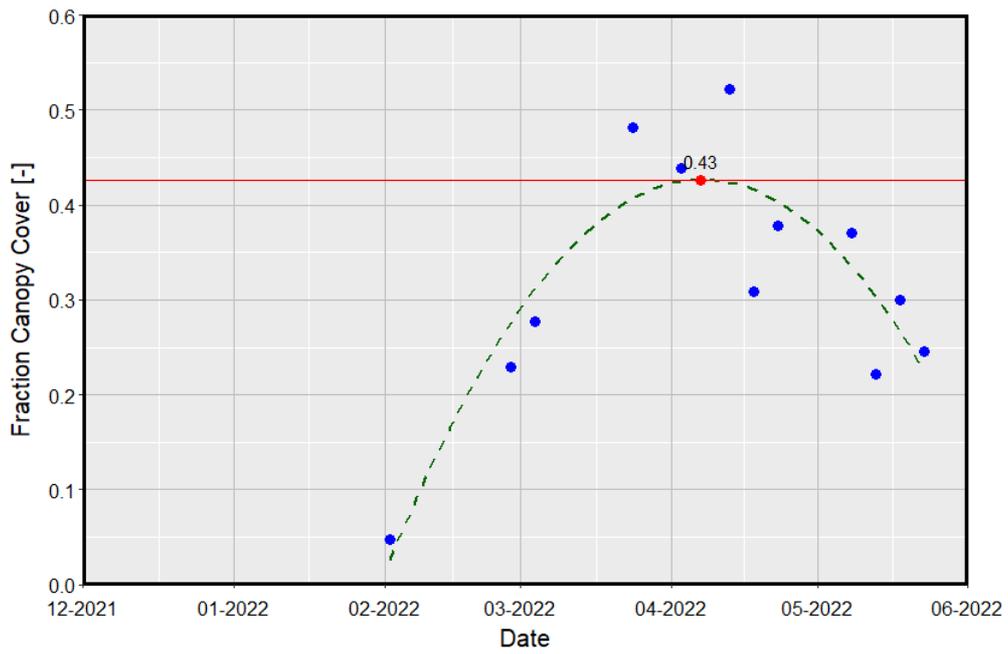
Antônio



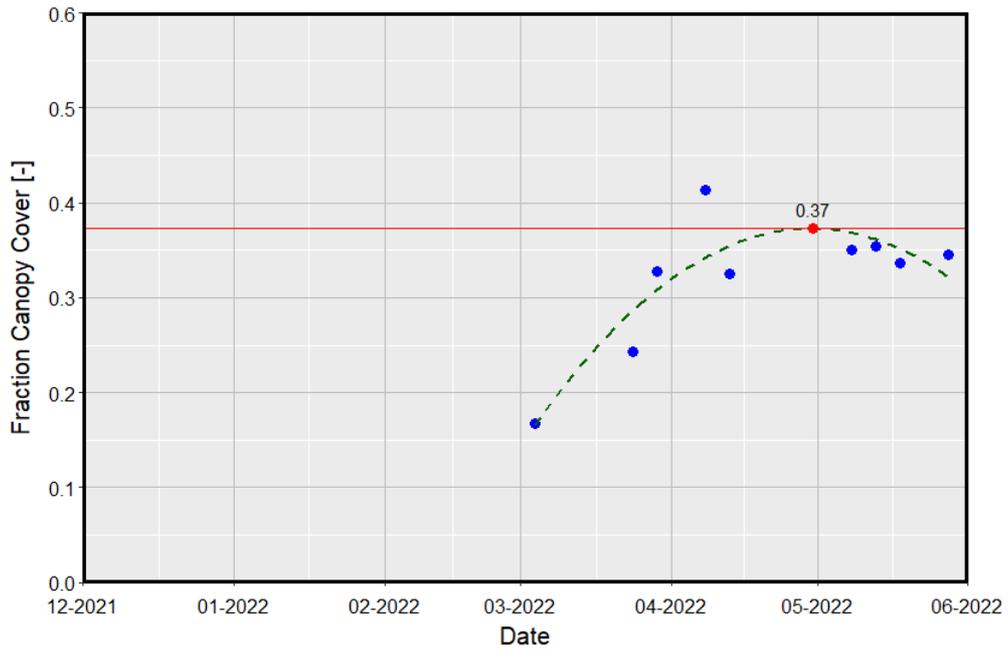
Dalton



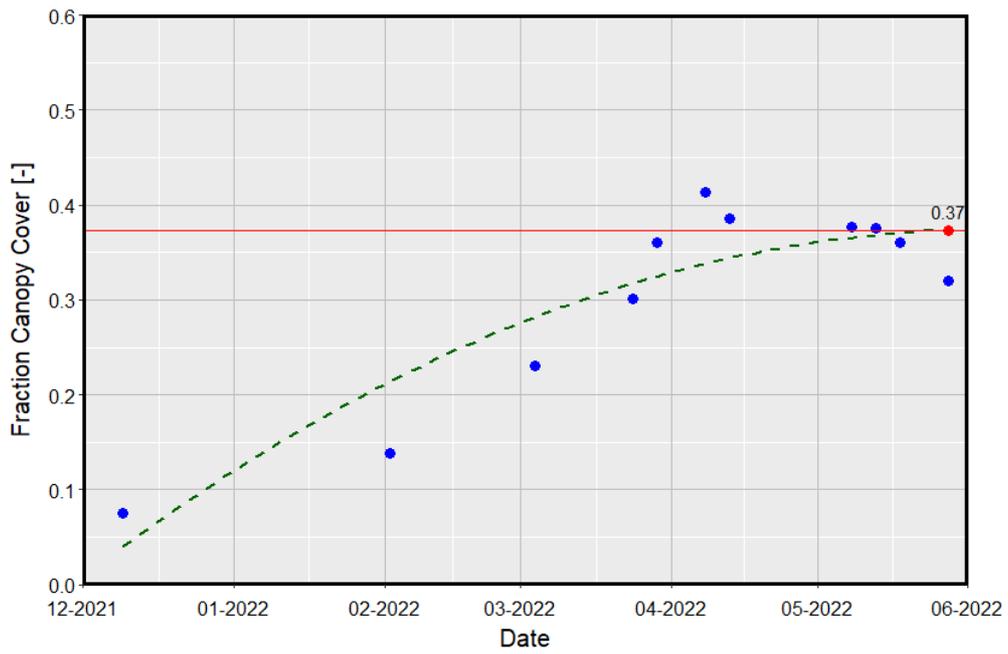
França



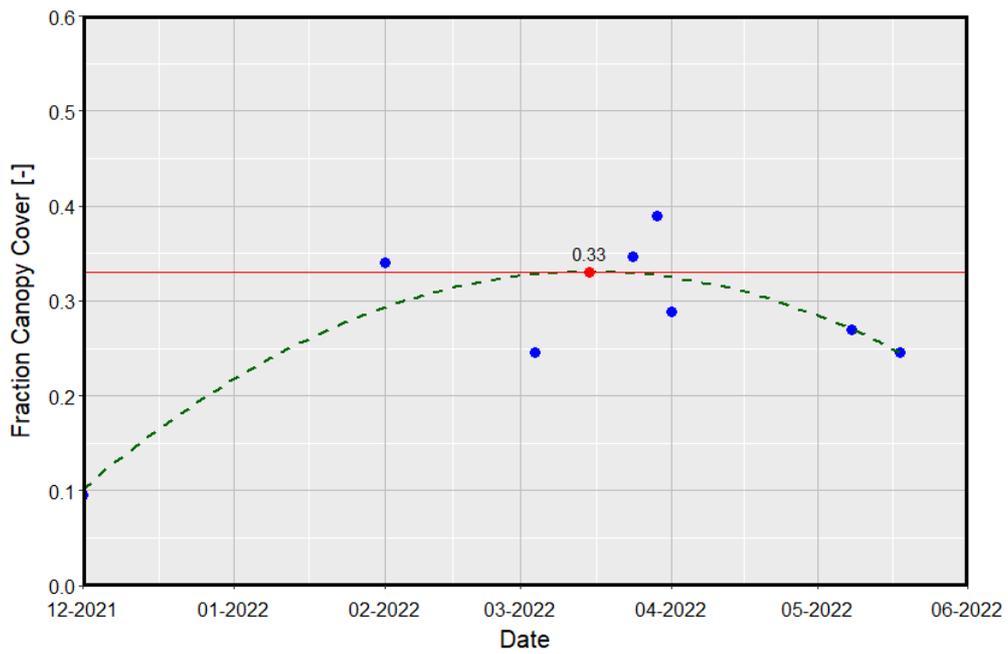
João 1



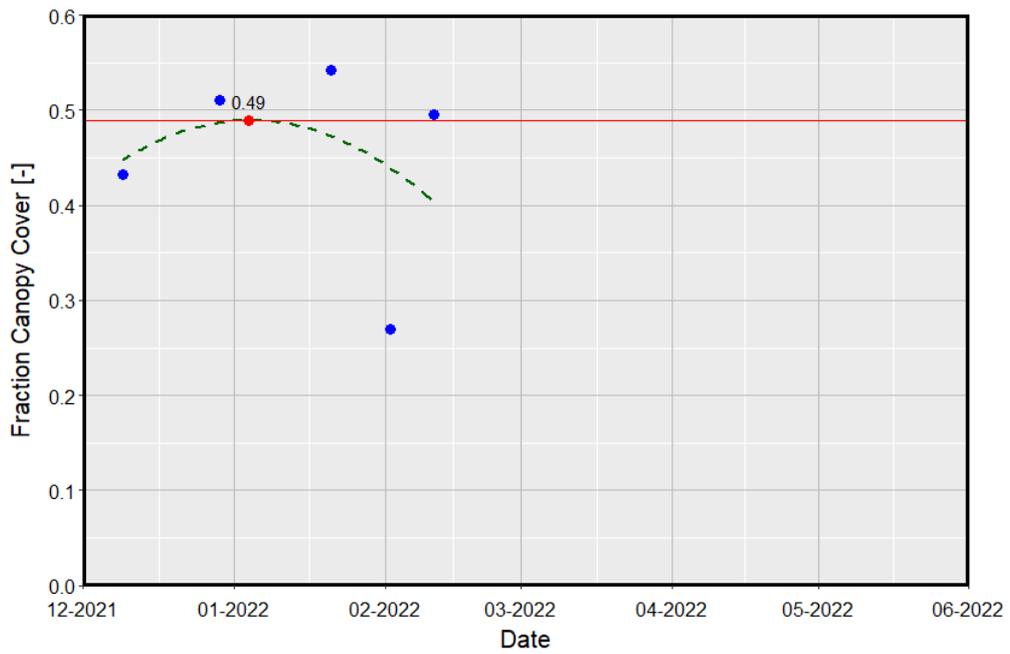
João 2



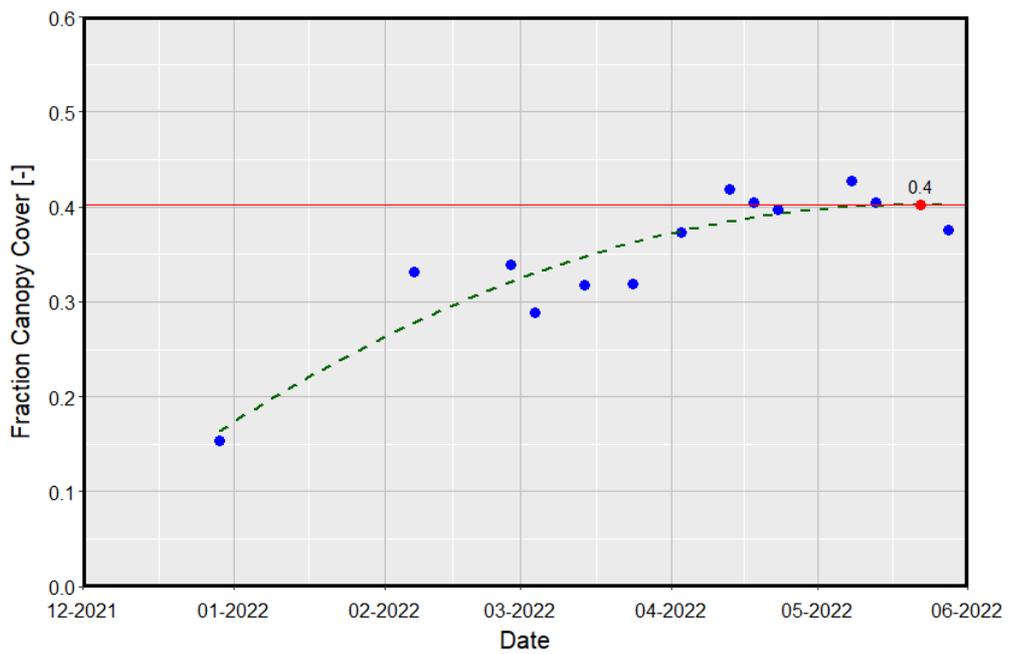
Rio Langton



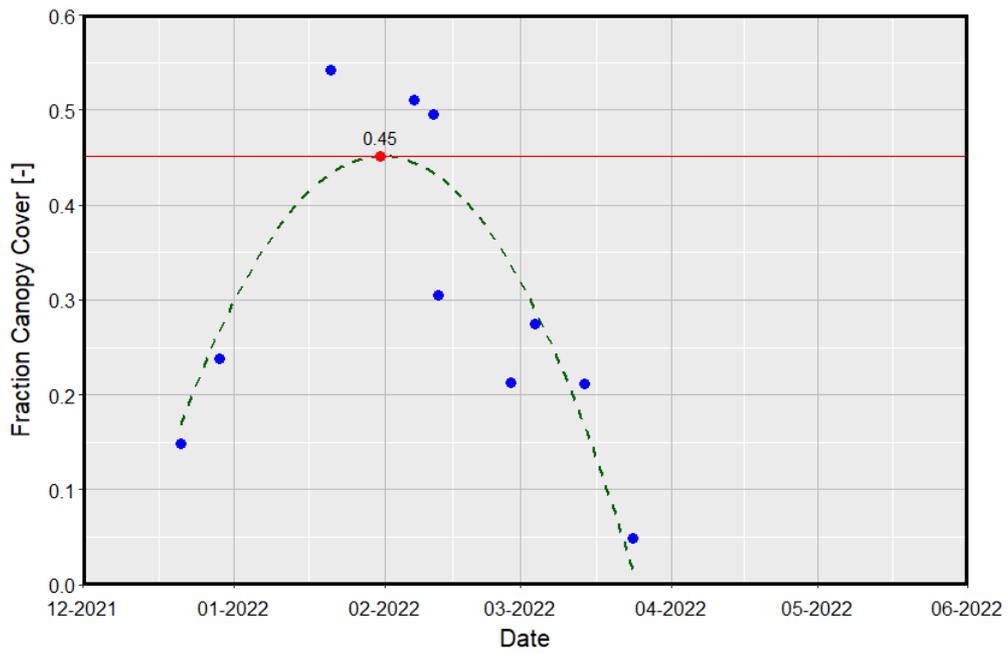
Manuel



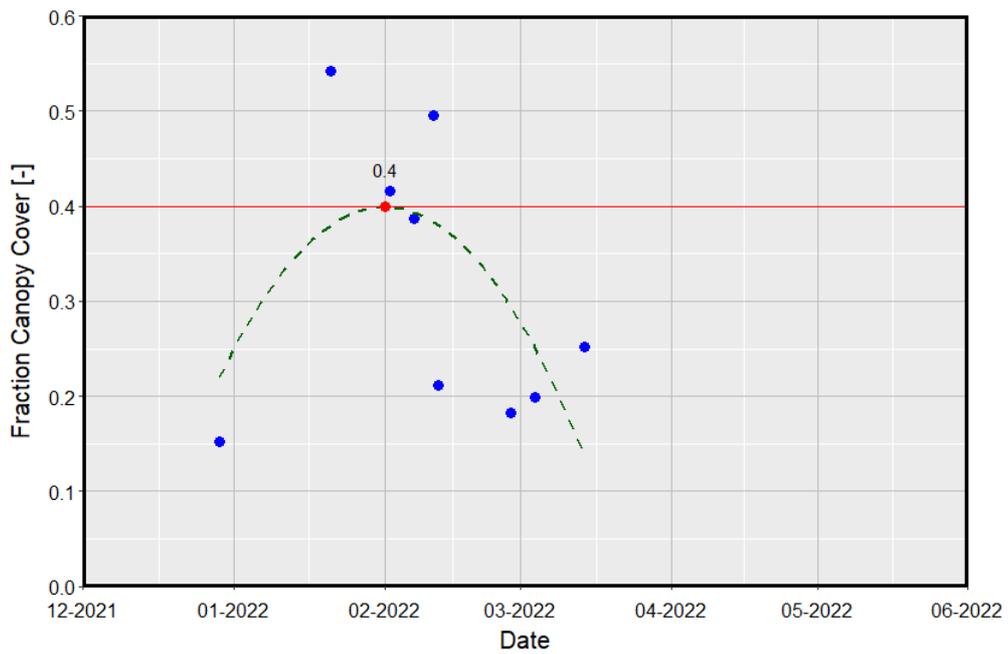
Reunor 1



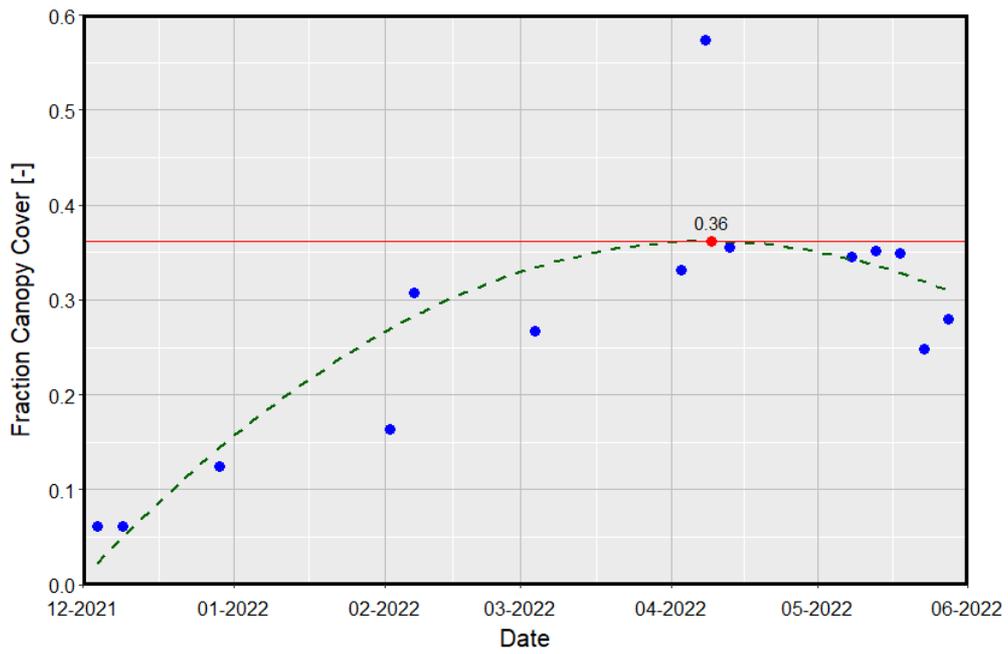
Reunor 2



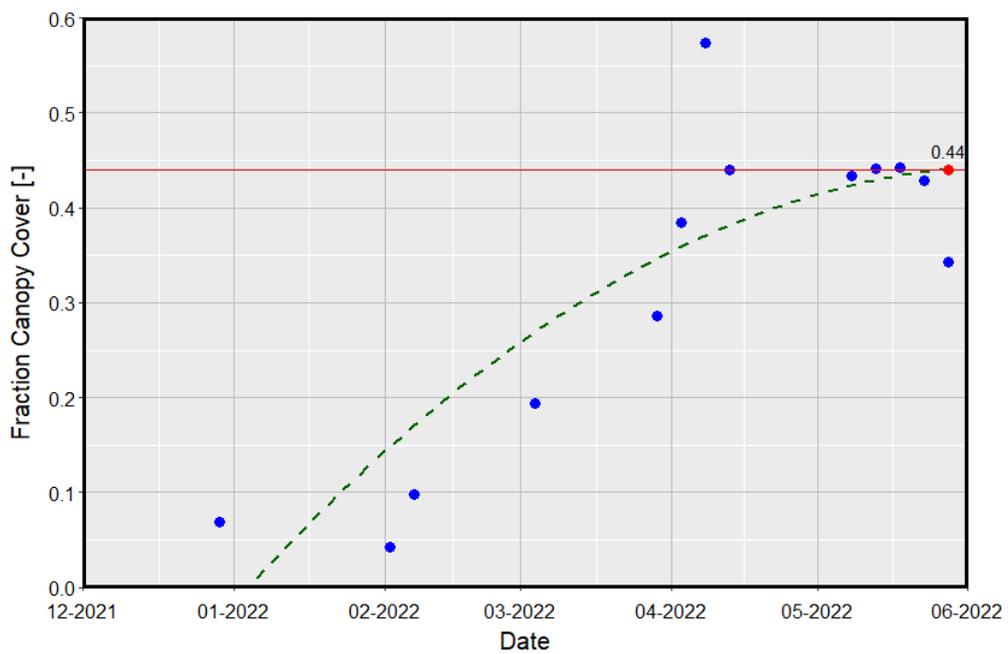
Reunor 3



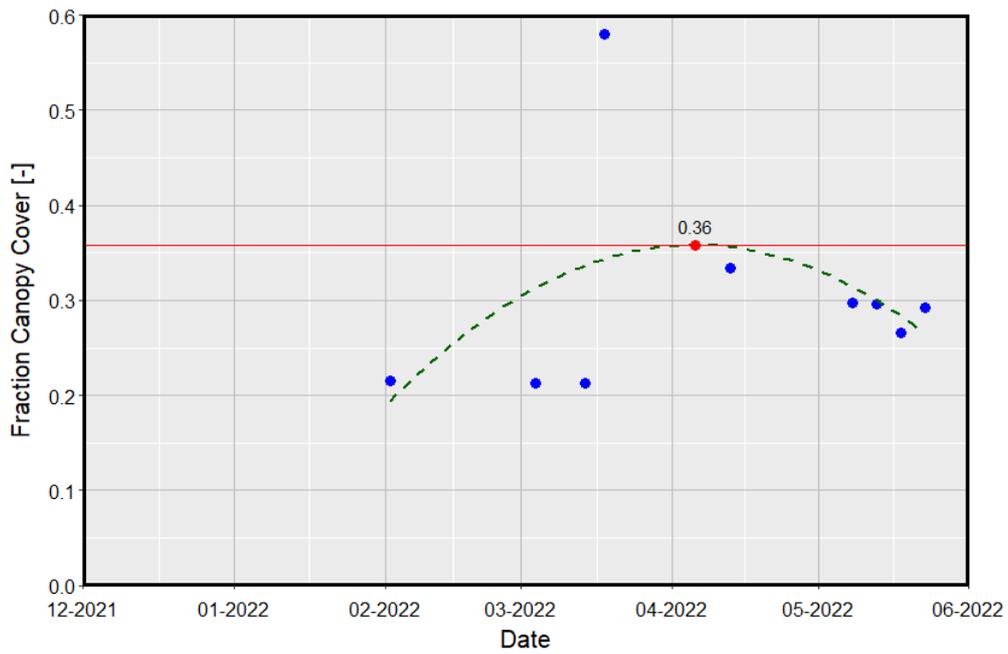
Vasco 1



Vasco 2

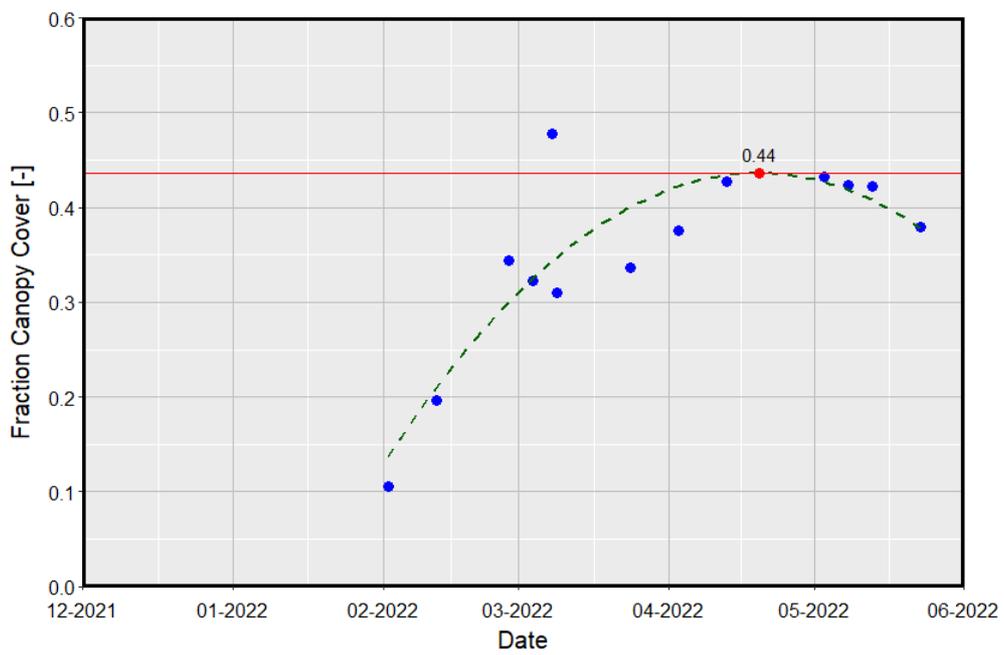


Vitória

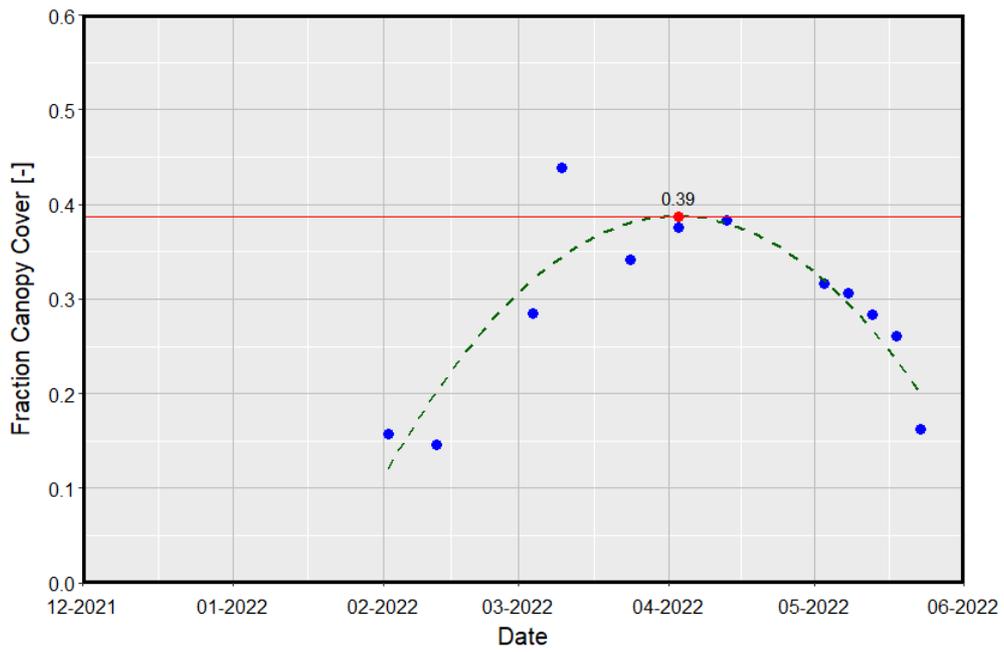


Moatize

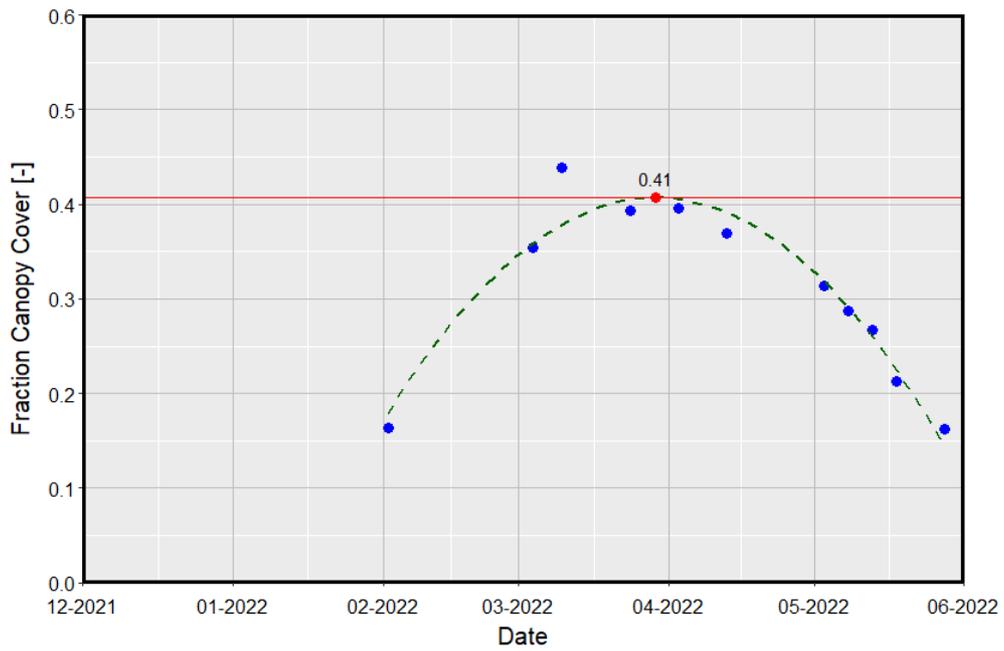
Manuel



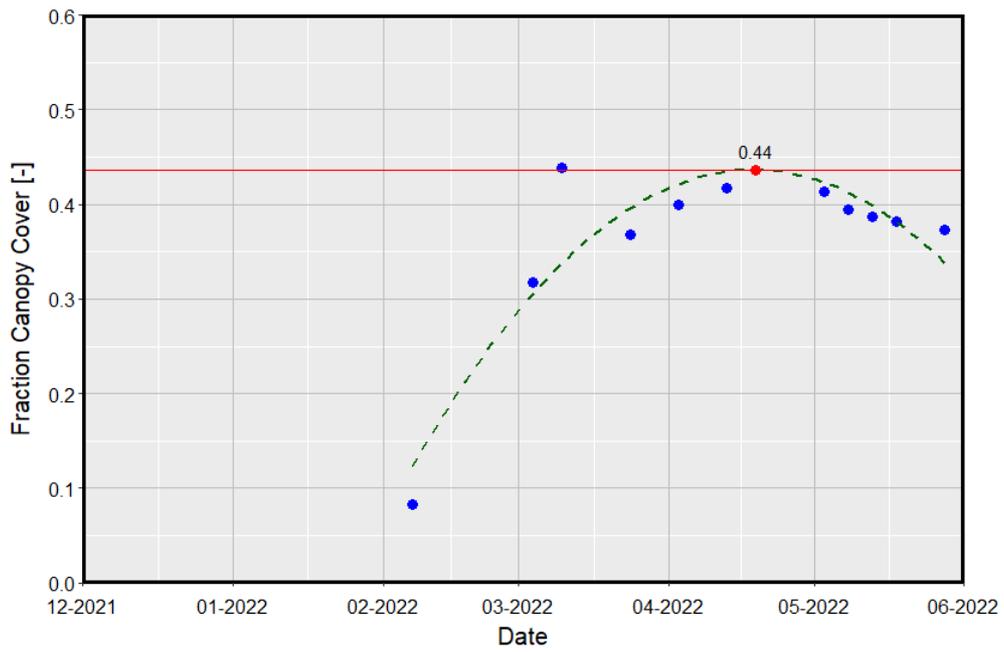
João 1



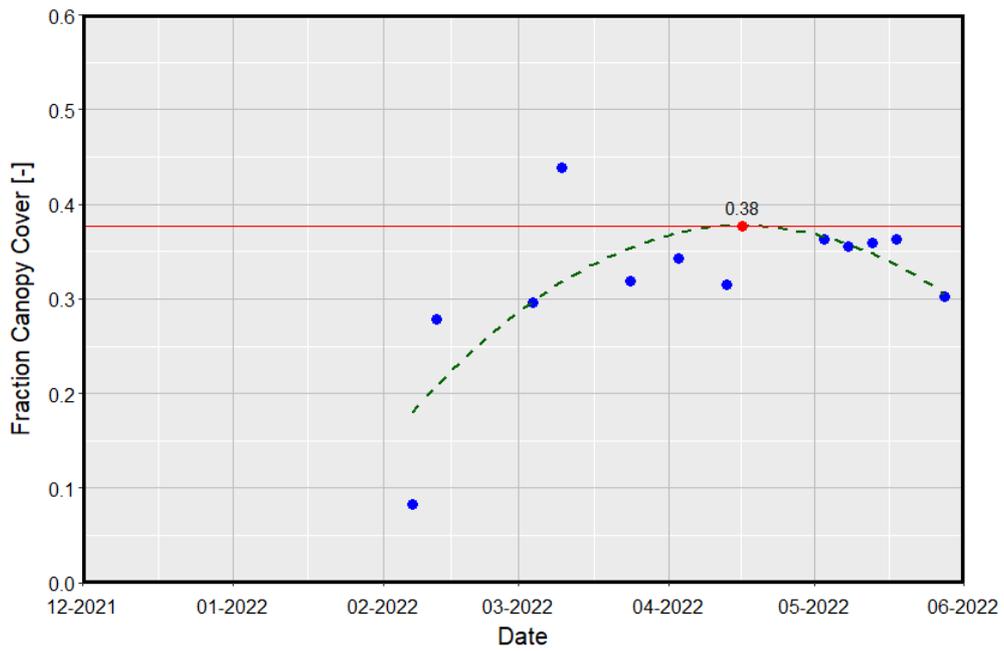
João 2



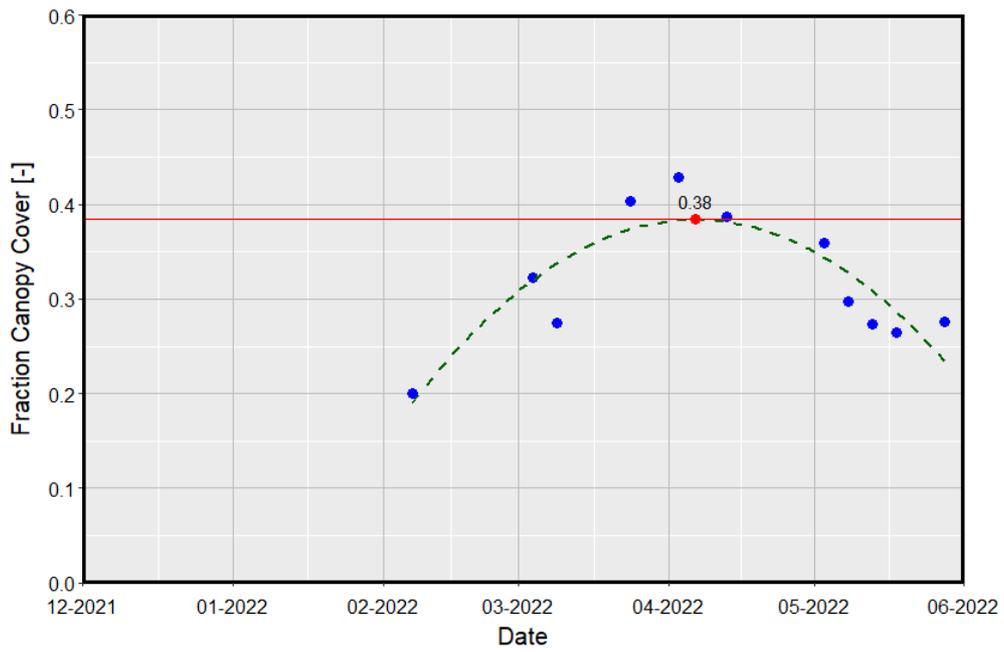
João 3



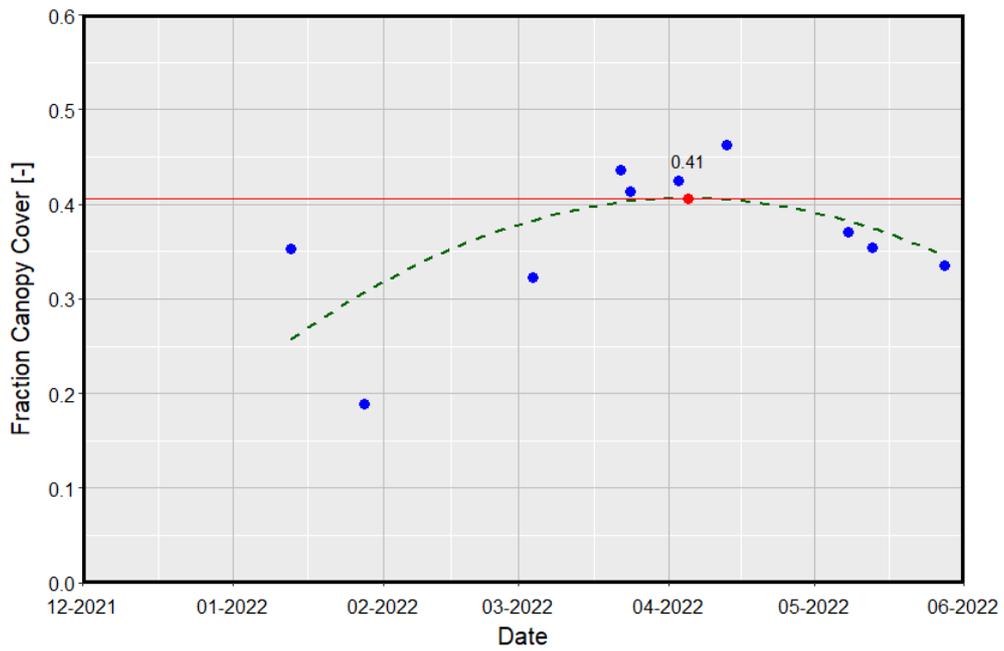
João 4



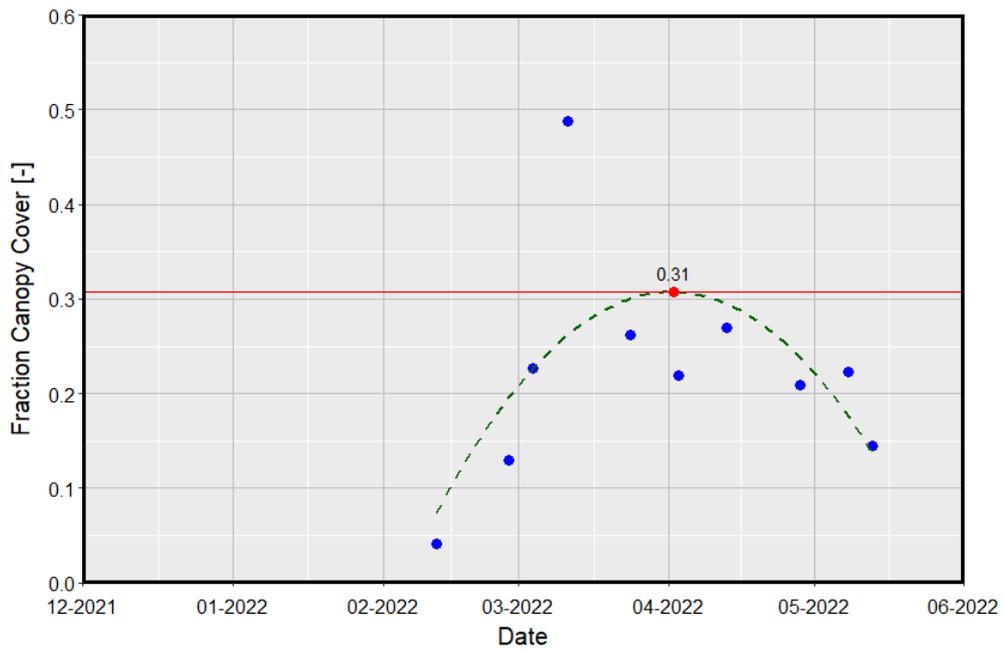
Girio



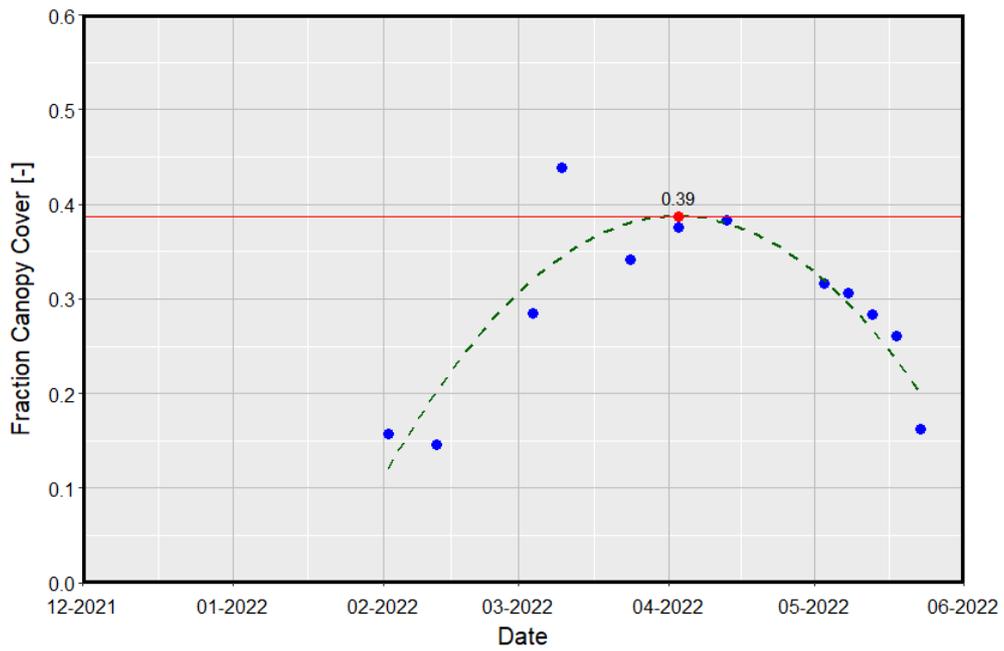
Vicente



Xavier

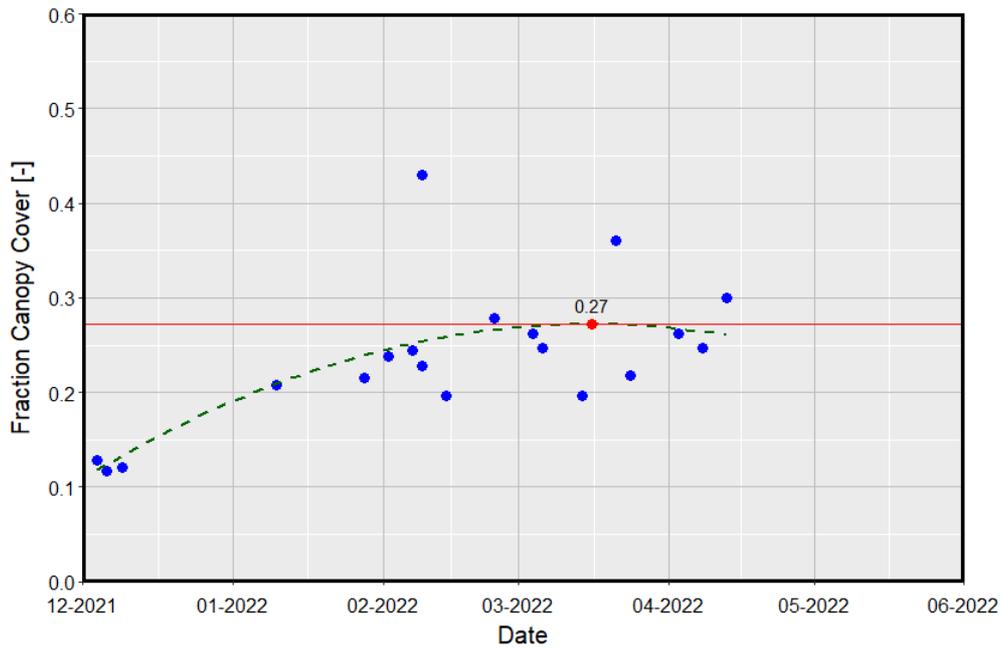


Albino

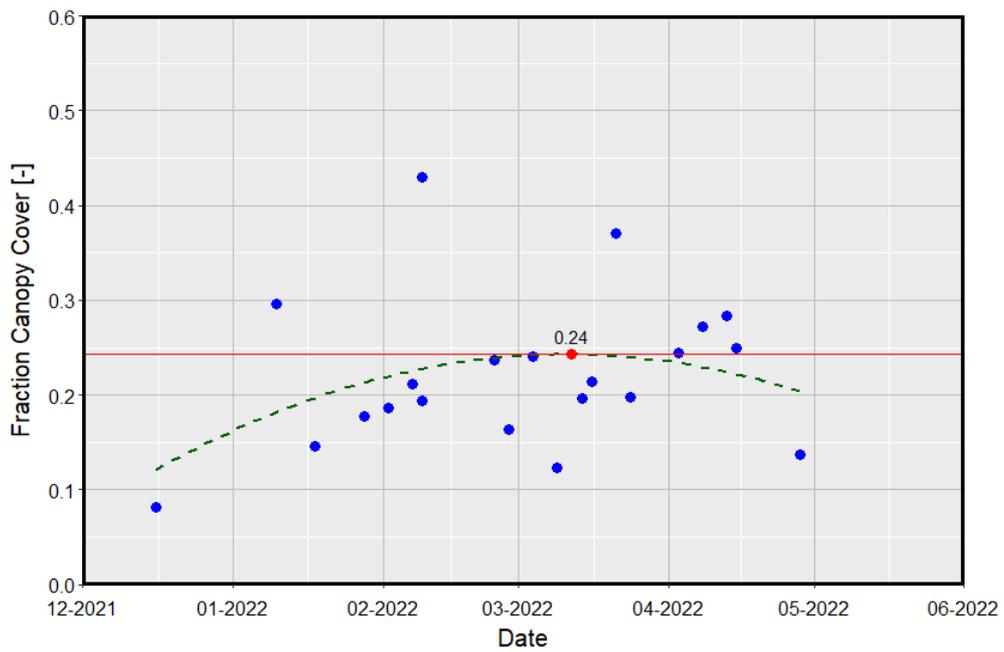


Nhamatanda

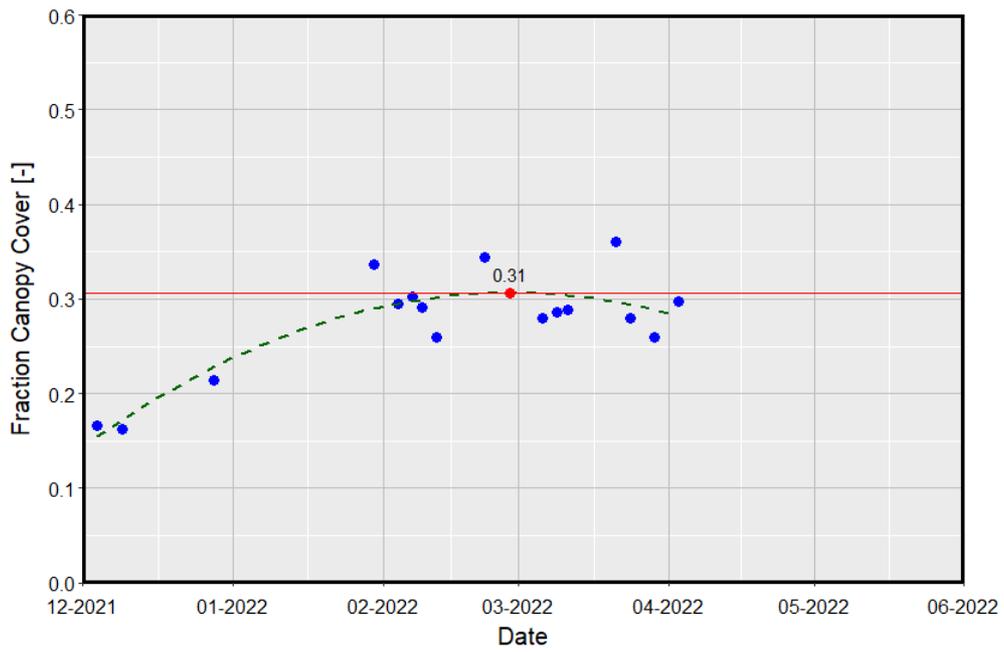
Lourenço 1



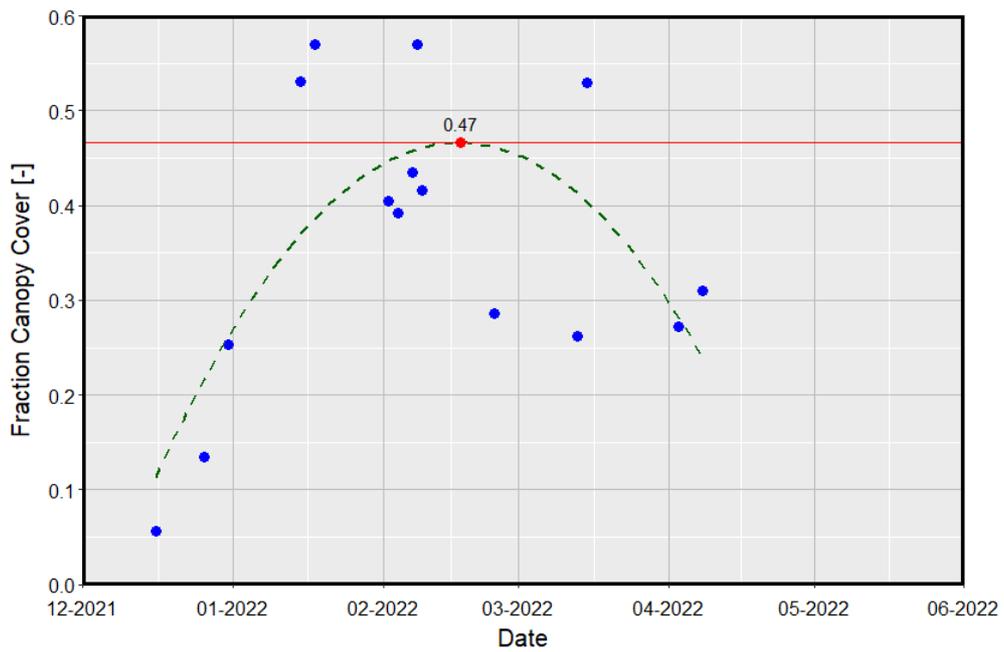
Lourenço 2



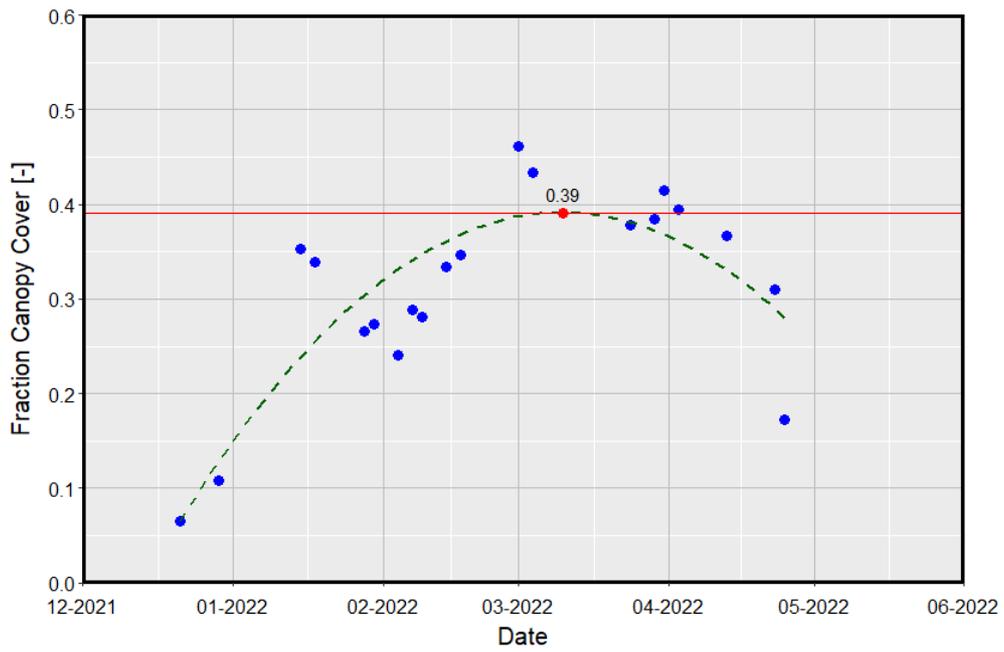
Armando



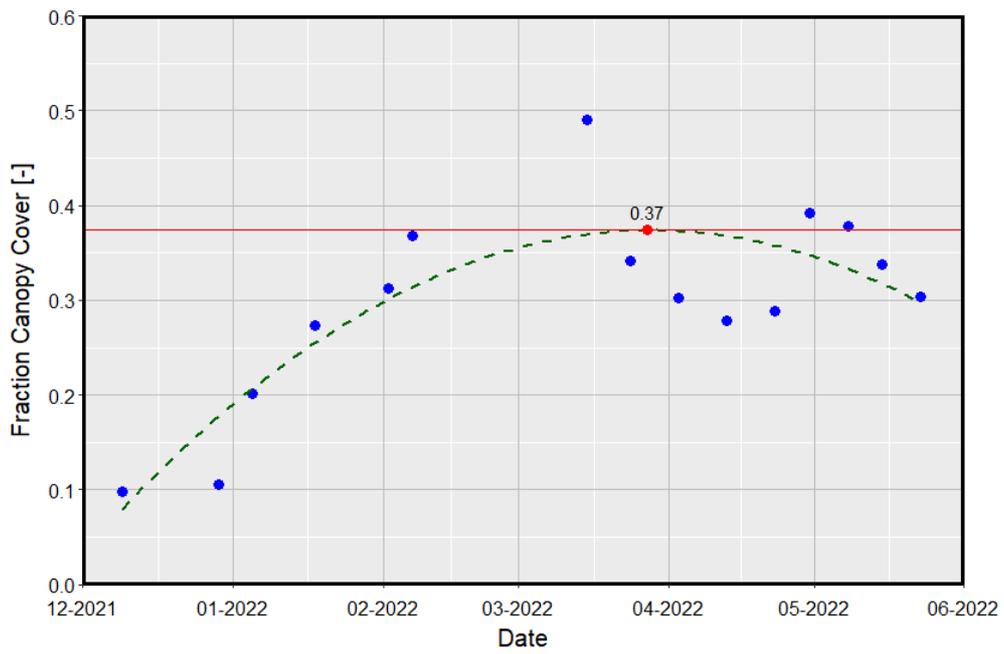
Rui



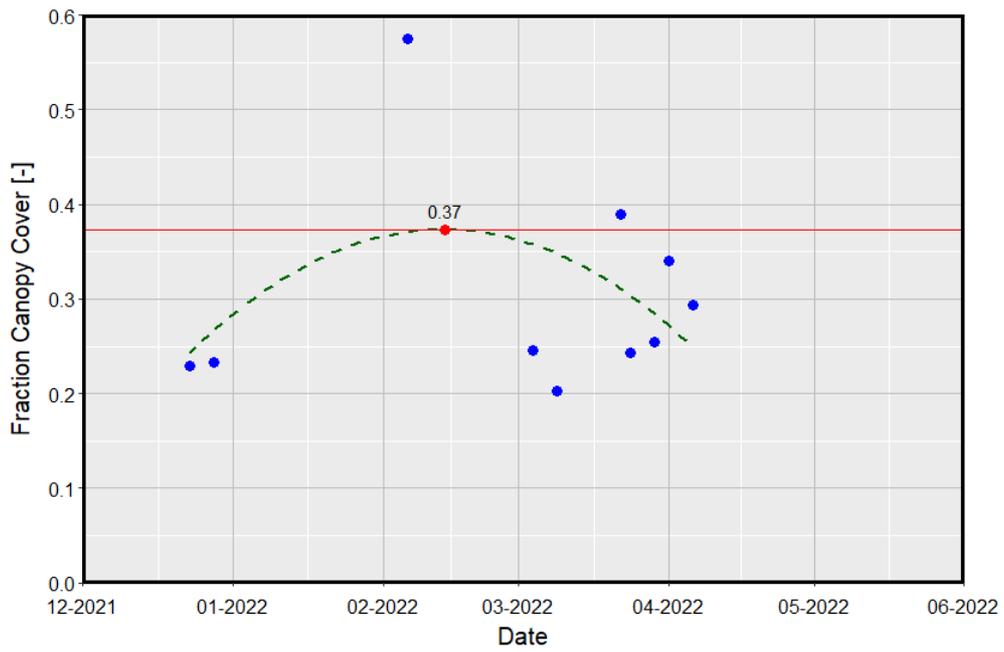
Machoca



José



Zacarias



Francisco

