

Water Productivity Analysis: Rainfed Season 2020-2021

Projeto APSAN-Vale



RELATOR

227

CLIENTE

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

AUTHORS

**Jonna van Opstal
Martijn de Klerk
Vera Hollander
Barba de Jack**

DADOS

setembro de 2021

Water Productivity Analysis: Rainfed Season 2020-2021

Projeto APSAN-Vale

Relatório FutureWater 227

Cliente

Agência de Desenvolvimento do Vale Zambeze (ADVZ)

Autores

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

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

Vera Hollander – Especialista em Gestão de Água(v.hollander@futurewater.nl)

Jack Beard – Consultor(j.beard@futurewater.nl)

Parceiros de projeto APSAN-Vale

Resiliência B.V.

HUB

Data

Setembro de 2021

FutureWater

ENDEREÇO

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

TELEFONE

+31 317 460 050

SITE

www.futurewater.eu

Prefácio

O projeto APSAN Vale tem como objetivo global aumentar a produtividade agrícola resiliente do clima e a segurança alimentar, com um objetivo específico de aumentar a produtividade da água e a rentabilidade dos pequenos agricultores em Moçambique, priorizando os pequenos agricultores (setor familiar) para aumentar a segurança alimentar e nutricional. Este projeto demonstrará quais são as melhores combinações de estratégias de adoção e pacotes tecnológicos, com o maior impacto global em termos de Produtividade da Água, tanto ao nível do enredo, como ao nível das bacias. O papel principal do FutureWater é monitorizar a produtividade da água em áreas-alvo (variação espacial e sazonal/anual) utilizando dados de deteção remota de Sensores Voadores (drones) e 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 temporada de chuvas 2020-2021 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 permaneceu inalterada. Este relatório fornece uma avaliação da produtividade da água durante a estação de cultivo de 2020 - 2021 de dezembro a abril para as áreas do projeto APSAN-Vale.

À escala de campo, a produtividade específica da água é calculada com recurso a simulações de modelos Flying Sensors (drones) e AquaCrop. Os sensores voadores utilizados estão equipados com uma câmara de infravermelhos próximo para deteção do estado da vegetação. Estas imagens são processadas e traduzidas para valores de cobertura de capota. No AquaCrop, os dados de campo e a cobertura de vela dos sensores voadores são utilizados para simular as práticas agrícolas de cada campo, para determinar o rendimento e a produtividade da água. À escala de sub-bacia e bacia, a produtividade da água de biomassa é calculada com base em dados do portal de dados de produtividade da água da FAO WaPOR (<http://wapor.apps.fao.org>).

Durante a época de cultivo de moscas foram realizados um total de 110 voos em 29 campos agrícolas, num total de 580 ha. O número de agricultores monitorizados neste relatório para a análise da produtividade da água em escala de campo é de 27 no total, com 11 em Barue, 10 em Moatize e 6 em Nhamatanda. Os resultados das imagens do sensor voador adquiridas ao longo da temporada são apresentados em mapas de campo impressos e também partilhados através do nosso portal online. No ano passado, foram feitos esforços substanciais para divulgar os mapas feitos pelos operadores de sensores voadores 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 27 agricultores que foram monitorizados ao longo da época de secas de chuva como parte do projeto APSAN-Vale. Verificou-se que a produtividade da água do milho variava entre 0,38 a 0,66 kg/m³ em Nhamatanda, 0,55 a 0,75 kg/m³ em Moatize, e 0,71 a 0,94 kg/m³ em Bárue. Após a normalização das condições climáticas, verificou-se que o aumento da produtividade da água era de +68% em Bárue, +78% em Moatize e +57% em Nhamatanda, o que resultou num aumento médio de 62% em comparação com os valores de base.

À escala da sub-bacia foi analisada uma área de 30 ha em torno de cada PPC. Trata-se de uma área representativa para avaliar a adoção de práticas por parte da comunidade agrícola circundante. Os maiores valores de produtividade da água foram encontrados em Bárue. Aqui os valores mais elevados são observados na Catandica II. Em Moatize a maior produtividade da água é encontrada em Moatize III. Os valores mais baixos para a produtividade da água encontram-se em Nhamatanda. Verificou-se que a produtividade da água a biomassa variava entre 1,76 e 1,87 kg/m³ em Bárue, 0,96 a 1,38 kg/m³ em Moatize, e 1,08 a 1,1 kg/m³ em Nhamatanda.

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 +39%, -5, e +14% para

báruè, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. O aumento médio da produtividade da água a biomassa foi de +16% para todos os distritos em conjunto.

A análise da produtividade da água em escalade campo indica uma melhoria da produtividade da água e alcança o objetivo definido para 2021 de 25%, conforme indicado no logframe do projeto. A continuação desta análise com a adoção de práticas ajudará a determinar intervenções eficazes para melhorar a produtividade da água e facilitar o aumento da produtividade da água.

Conteúdo

| | |
|--|-----------|
| Resumo | 4 |
| Lista de Tabelas | 8 |
| Lista de Figuras | 9 |
| 1 Introdução | 11 |
| 1.1 Conceito de produtividade da água | 11 |
| 1.2 Projeto APSAN-Vale | 11 |
| 1.2.1 Descrição | 11 |
| 1.2.2 Indicadores de logframe | 12 |
| 1.3 Visão geral da temporada | 13 |
| 1.4 Guia de leitura | 13 |
| 2 Metodologia | 14 |
| 2.1 Localizações do projeto | 14 |
| 2.1.1 Pequenos agricultores comerciais (Pequenos Produtores Comercial, PPCs) | 14 |
| 2.1.2 Sub-bacias hidrográficas / comunidades locais | 14 |
| 2.1.3 Bacias | 16 |
| 2.2 Abordagem | 16 |
| 2.2.1 Produtividade específica da água das culturas | 17 |
| 2.2.2 Produtividade da água de biomassa | 17 |
| 2.3 Imagens de sensores voadores | 18 |
| 2.3.1 Equipamento de sensor voador | 18 |
| 2.3.2 Aquisição de imagens | 19 |
| 2.3.3 Processamento de imagens | 19 |
| 2.4 Modelação de simulação de cultura | 20 |
| 2.4.1 AquaCrop | 20 |
| 2.4.2 Dados de entrada | 21 |
| 2.4.3 Processo de calibração | 23 |
| 2.5 Conjuntos de dados WaPOR | 23 |
| 2.5.1 Evapotranspiração real | 24 |
| 2.5.2 Produção de biomassa | 24 |
| 2.5.3 Camadas suplementares | 24 |
| 2.6 Normalização para as condições meteorológicas anuais | 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 | 29 |
| 4.1 Imagens de sensores voadores | 29 |
| 4.1.1 Mapas de campo para inscrição | 29 |
| 4.1.2 Mapas de campo para monitorização da vegetação | 29 |
| 4.1.3 Portal do sensor voador APSAN-Vale | 30 |
| 4.2 Cobertura de dossel | 31 |
| 4.3 Produtividade da água do AquaCrop | 33 |
| 4.4 Mapas de produtividade da água de campo | 35 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5 | Resultados da produtividade da água da sub-bacia | 39 |
| 6 | Resultados da produtividade da água à escala da bacia | 40 |
| 7 | Avaliação sazonal da produtividade da água | 42 |
| 7.1 | Avaliação da produtividade da água ao nível do campo | 42 |
| 7.2 | Avaliação da produtividade da água à escala da bacia | 43 |
| 8 | Observações finais | 44 |
| | Anexo 1 – Visão geral dos dados de entrada | 45 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Indicadores de logframe relacionados com a produtividade da água. | 13 |
| Tabela 2. Panorâmica do número de voos realizados e dos agricultores monitorizados durante esta época | 13 |
| Tabela 3. Visão geral dos voos e da área durante a Temporada de Rainfed de 2020-2021 | 19 |
| Tabela 4. Parâmetros calibrados para culturas selecionadas em Bárue, Moatize e Nhamatanda | 22 |
| Tabela 5. Textura do solo em cada site | 23 |
| Tabela 6. Evapotranspiração total sazonal de referência para os três distritos durante a época chuvosa 2020-2021, e a média de longo prazo (2001-2018) da chuva | 27 |
| Tabela 7. Resultados da produtividade da água aquaCrop e rendimento das culturas secas, e por cento da variação da produtividade da água em comparação com a linha de base (percentil 75 = 0,33 kg/m ³) para os agricultores de Nhamatanda | 34 |
| Tabela 8. Resultados da produtividade da água do AquaCrop e do rendimento das culturas secas, e por cento da variação da produtividade da água em comparação com a linha de base (percentil 75 = 0,37 kg/m ³) para os agricultores de Moatize | 34 |
| Tabela 9. Resultados da produtividade da água do AquaCrop e do rendimento das culturas secas, e por cento da variação da produtividade da água em comparação com a linha de base (percentil 75 = 0,41 kg/m ³) para os agricultores de Bárue | 35 |
| Tabela 10. Resultados da produtividade da água da análise das sub-bacias utilizando o portal de dados WaPOR | 39 |
| Tabela 11. Panorâmica das estatísticas da produtividade da água, evapotranspiração e produção de biomassa para as bacias dos distritos de projeto selecionados | 40 |
| Tabela 12. Produtividade normalizada da água do milho (em kg/m ³) para a estação de chuva 2020 - 2021 em comparação com a linha de base | 43 |
| Tabela 13. Produtividade da água a biomassa (kg/m ³) para a estação de chuva 20-2021 à escala da bacia em comparação com a linha de base | 43 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Distritos de localização de atividades do projeto APSAN-Vale | 12 |
| Figura 2. Localização dos PPCs selecionados monitorizados com voos de sensores voadores durante a temporada de rainfed 2020-2021 | 14 |
| Figura 3. Localização e fronteiras das comunidades locais (nível sub-bacia) no distrito de Moatize | 15 |
| Figura 4. Localização e fronteiras das comunidades locais (nível sub-bacia) no distrito de Nhamatanda | 15 |
| Figura 5. Localização e fronteiras das comunidades locais (nível sub-bacia) no distrito de Bárúè | 15 |
| Figura 6. Delimitação de bacias e dinâmizações para os três distritos | 16 |
| Figura 7. Fluxo de trabalho para o cálculo da análise específica da produtividade da água das culturas | 17 |
| Figura 8. Fluxo de trabalho para análise da produtividade da água de biomassa | 18 |
| Figura 9. Foto do sensor voador em ação | 18 |
| Figura 10. Ilustração explicando a resposta do comprimento de onda de infravermelhos próximo (NIR) ao estado da vegetação | 19 |
| Figura 11. Dados de campo e simulações de saída do modelo AquaCrop | 21 |
| Figura 12. Característica do solo em Moatize | 23 |
| Figura 13. Cinco dias de referência média evapotranspiração para os três distritos durante a temporada de chuva 2020-2021 das estações TAHMO e complementada com dados da WaPOR para Bàrué | 26 |
| Figura 14. Comparação entre 2020 e 2021 de referência mensal evapotranspiração com média de longo prazo (2009-2018) com o produto portal de dados WaPOR | 27 |
| Figura 15. Precipitação diária para 2020-2021 das estações meteorológicas do TAHMO | 28 |
| Figura 16. Comparação da precipitação mensal 2020-2021 com a média de longo prazo (2001-2018) com o CHIRPS | 28 |
| Figura 17. Mapa de registo de campo do PCP (pequeno agricultor comercial) João Nainepenze Joaquim (exemplo) | 29 |
| Figura 18. Desenvolvimento do estatuto de vegetação do PCP (pequeno agricultor comercial) Regina Bastos em Nhamatanda, Metuchira Pita (exemplo) | 30 |
| Figura 19. Screenshot do portal de sensores voadores APSAN-Vale atualizado, mostrando a opção de selecionar um mapa no lado esquerdo, o mapa do estado da vegetação no meio e alguns comentários de exemplo na secção direita | 31 |
| Figura 20. Canopy sobre desenvolvimento sobre um campo de milho (PPC Lopes em Moatize) para quatro datas de voo (exemplo) | 31 |
| Figura 21. Cobertura de cobertura de vela curvilínea do PPC Zeca Marcelino em Moatize utilizando a cobertura da copa determinada a partir de cinco voos de sensores voadores (indicados com círculos) e a data de plantação (indicada como primeiro círculo em d _{ay0}) | 32 |
| Figura 22. Curva de cobertura de cobertura de PPC Loide Gonsalves em Moatize utilizando dados de cinco voos (indicados como círculos) e a data de plantação (indicado como primeiro círculo em day0) | 32 |
| Figura 23. Curva de cobertura de vela do PPC Alfredo Assis em Moatize utilizando dados de quatro voos (indicados como círculos) e a data de plantação (indicada como primeiro círculo em d _{ay0}) | 33 |
| Figura 24. Mapas de produtividade da água no campo dos agricultores de Nhamatanda, incluindo a produtividade da água do milho, aumento percentual em comparação com a linha de base (percentil 75) | 36 |
| Figura 25. Mapas de produtividade da água no campo dos agricultores de Bárúè, incluindo a produtividade da água do milho, aumento percentual em comparação com a linha de base (percentil 75) | 37 |

| | |
|--|----|
| Figura 26. Mapas de produtividade da água no campo dos agricultores de Moatize, incluindo a produtividade da água do milho, e aumento por cento em comparação com a linha de base (percentil 75) | 38 |
| Figura 27. Produtividade sazonal da água de biomassa para pixéis de terra sazonal em Moatize, Bárue e Nhamatanda à escala da bacia usando portal de dados WaPOR | 41 |

1 Introdução

1.1 Conceito de 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 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). Neste âmbito do projeto foi selecionada a utilização de evapotranspiração (versus aplicação de irrigação), porque representa a componente do equilíbrio hídrico que não pode ser reutilizada 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:²

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

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

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.

1.2 Projeto APSAN-Vale

1.2.1 Descrição

O projeto APSAN-Vale teve início no final de 2018 e é um projeto de 3,5 anos com o objetivo de: "Inovações piloto para aumentar a produtividade da água e a 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 pequena dimensão. Estas inovações podem ser pacotes técnicos (intervenções e formações) e 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 resultou num aumento da produtividade da água. Os padrões espaciais na

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

² Escudeiro, G.L.: Produtividade da Água na Agricultura: Limites e Oportunidades de Melhoria. Editado por J. W. Rio KijneR. Barker, D. Molden. Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing (2003), pp. 352, ISBN 0-85199-669-8, Exp. Agric., 40(3), 395-395, doi:10.1017/S0014479704372054, 2004.

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: Báruè, 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

1.2.2 Indicadores de logframe

No âmbito do projeto APSAN-Vale são formulados vários indicadores de logframe. Os indicadores ligados à avaliação da produtividade da água constam do quadro 1. Alguns indicadores exigem o cálculo de uma produtividade específica da água (1,2 e 1,3), enquanto outros indicadores utilizam a produtividade da água de biomassa (1,4). Também as saídas indicam que a produtividade da água é calculada nas escalas de campo, sub-bacia e bacia, fornecendo assim os mapas necessários nessas 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.³

³ 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 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 |

1.3 Visão geral da temporada

A estação dos alimentos para as chuvas começou no final de novembro de 2020 com a plantação das culturas de milho, que é a maior cultura cultivada durante esta época de cultivo. Outras culturas foram plantadas em janeiro ou fevereiro. A estação continua até final de abril, com a colheita a ocorrer no início de maio. A precipitação durante esta estação é errática com fortes eventos de chuva, e ocasionalmente resultando em danos causados por inundações em estradas de acesso e perda de colheitas. 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 27 agricultores.

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

| | Báruè | Moatize | Nhamatanda | Total |
|------------------------------------|--------|---------|------------|--------|
| Voos realizados | 53 | 33 | 24 | 110 |
| Agricultores monitorizados | 11 | 10 | 8 | 29 |
| Área coberta | 220 ha | 200 ha | 160 ha | 580 ha |
| Agricultores monitorizados para WP | 11 | 10 | 6 | 27 |

1.4 Guia de leitura

Este relatório técnico fornece os resultados da análise da produtividade da água à escala de campo, escala sub-bacia e escala de bacia utilizando 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 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 faz uma avaliação dos resultados da produtividade da água e compara-se com os valores de avaliação de base. O capítulo 8 apresenta as observações resumindo e finalizadas.

2 Metodologia

2.1 Localizações do projeto

2.1.1 Pequenos agricultores comerciais (Pequenos Produtores Comercial, PPCs)

Para cada distrito foram selecionados vários pequenos agricultores comerciais (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 Bárue, Moatize, e Nhamatanda, onze, dez e seis PPCs, respectivamente, foram monitorizados para a análise da produtividade da água. A figura 2 indica as localizações dos PPCs monitorizados durante a estação de cultivo da chuva.

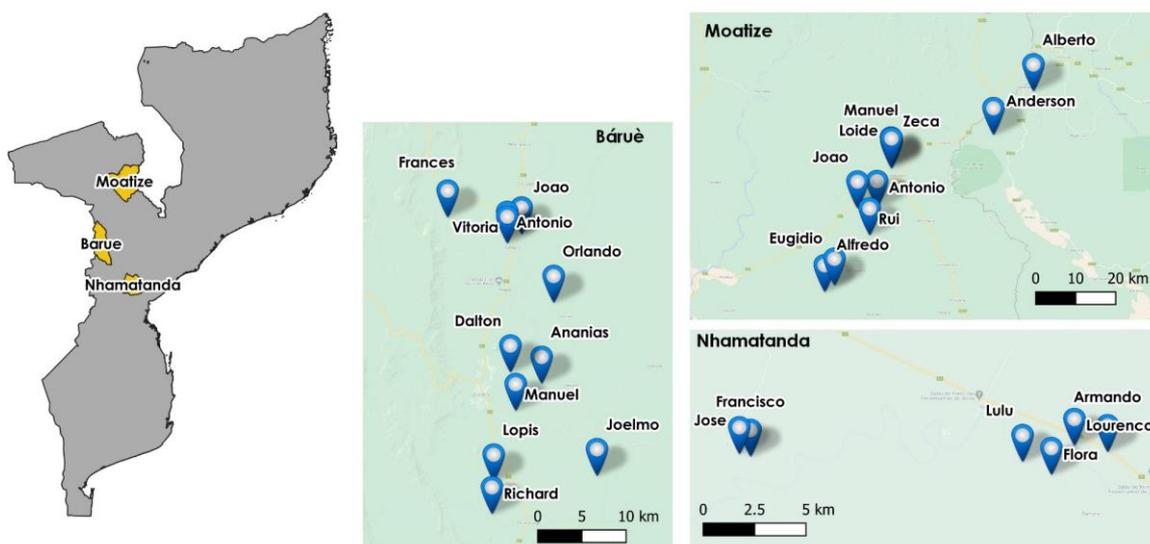


Figura 2. Localização dos PPCs selecionados monitorizados com voos de sensores voadores durante a temporada de rainfed 2020-2021

2.1.2 Sub-bacias hidrográficas / comunidades locais

A escala da sub-bacia é um nível entre a escala de campo dos PPCs e a escala da bacia, tal como descrito na secção seguinte. Para este relatório é selecionado para selecionar o nível da sub-bacia ao tamanho das comunidades locais que rodeiam os PPCs. O objetivo do projeto APSAN-Vale é aumentar a produtividade da água de várias comunidades através do intercâmbio de conhecimento das intervenções que estão a ser implementadas. Isto é melhor monitorizado a uma escala que captura a mudança das comunidades. A área é selecionada usando um tampão em torno dos PPCs selecionados de aproximadamente 300 ha. A localização destas comunidades é apresentada nas figuras 3, 4 e, 5 para Moatize, Nhamatanda e Bárue, respectivamente. Cada um selecionou 2 a 4 agrupamentos que rodeiam os PPCs.

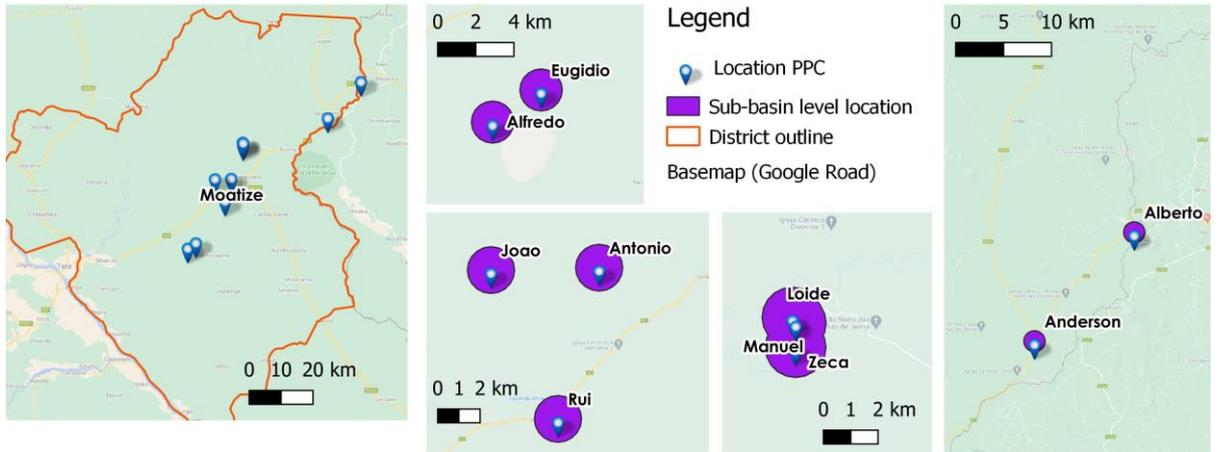


Figura 3. Localização e fronteiras das comunidades locais (nível sub-bacia) no distrito de Moatize

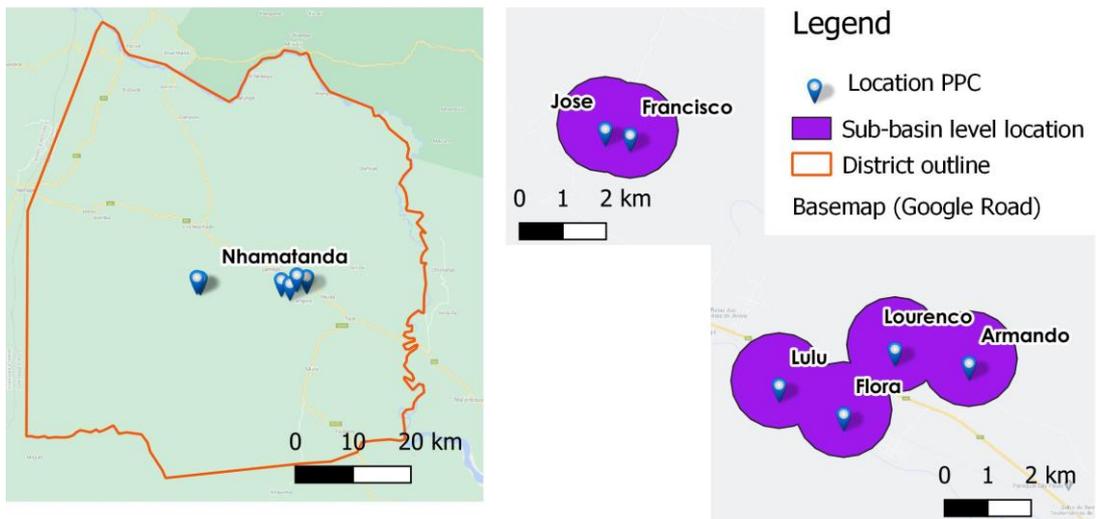


Figura 4. Localização e fronteiras das comunidades locais (nível sub-bacia) no distrito de Nhamatanda

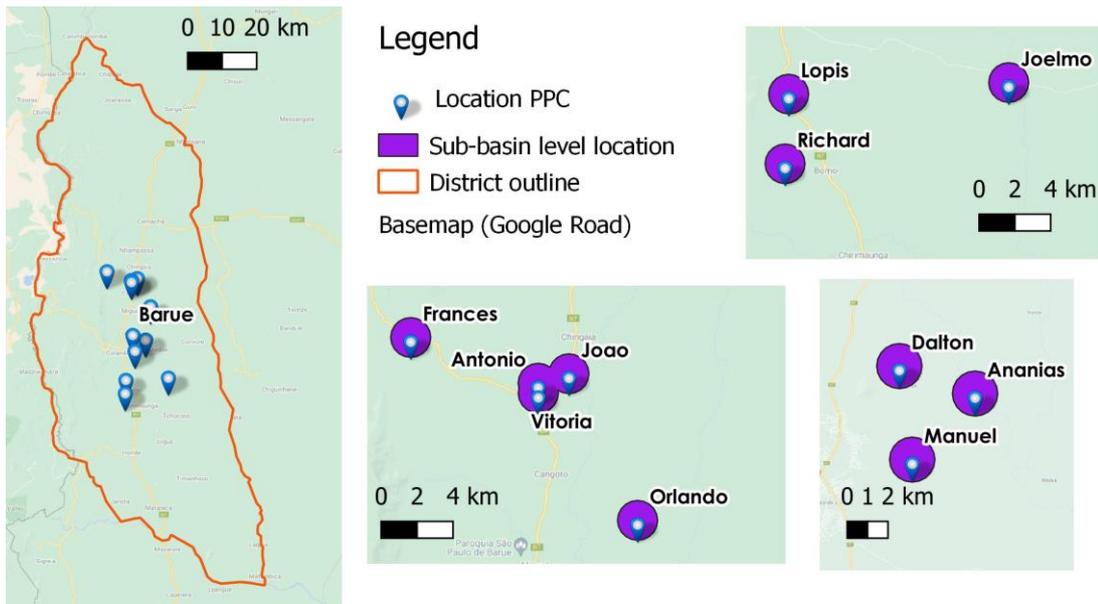


Figura 5. Localização e fronteiras das comunidades locais (nível sub-bacia) no distrito de Bárue

2.1.3 Bacias

A delimitação da bacia foi realizada utilizando um DEM (modelo de elevação digital) a 30m de resolução fornecida pela SRTM, 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 avaliando a localização das atividades do projeto nos campos (como mostra a Figura 2). As sub-bacias são representativas das localidades do projeto, enquanto as bacias representam o panorama mais vasto 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.⁴

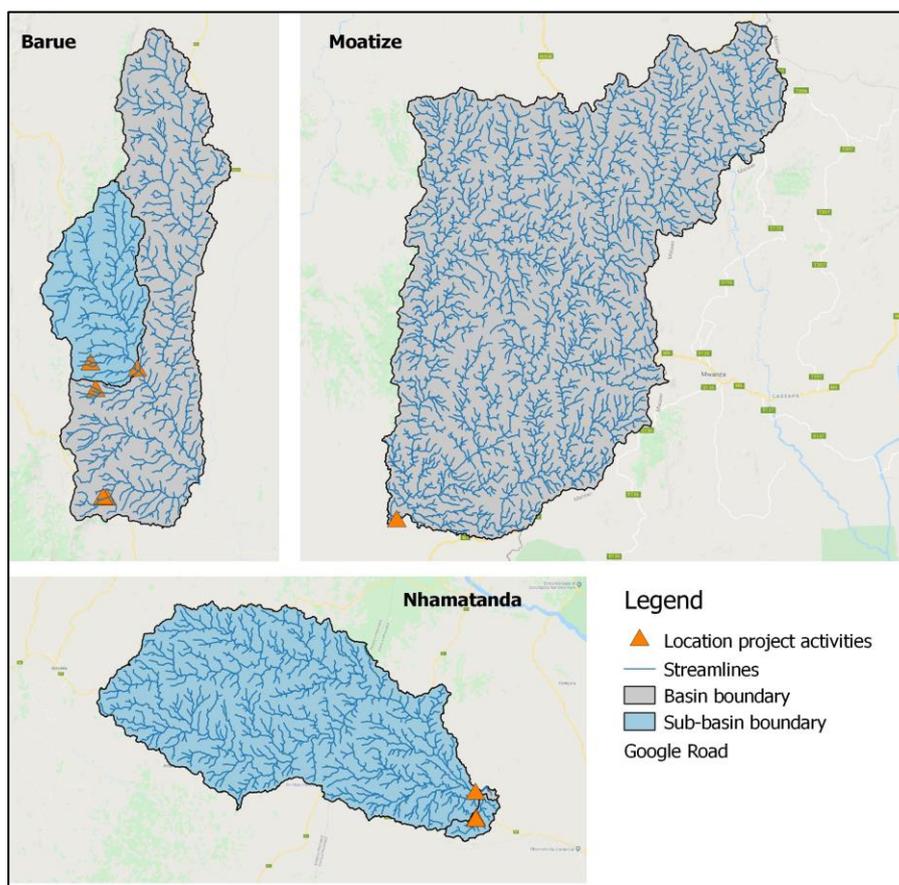


Figura 6. Delimitação de bacias e dinâmicas para os três distritos

2.2 Abordagem

A análise da produtividade da água segue duas abordagens para o cálculo da produtividade da água:

1. À escala de campo, a informação mais detalhada está disponível no que diz respeito ao tipo de cultura e às estratégias de gestão. A esta escala, é calculada uma produtividade específica da água para as culturas selecionadas nos três distritos diferentes utilizando a modelação de simulação de culturas (2.2.1).
2. Na sub-bacia e na escala das bacias estão disponíveis informações limitadas sobre a distribuição espacial dos tipos de culturas. A esta escala, uma produtividade da água a biomassa é calculada

⁴ van der Kwast, H. & Menke, K., QGIS for Hydrological Applications - Receitas para Hidrologia de Captação e Gestão de Água, Localizar Press, 2019.

com base em dados da WaPOR, o Portal de Acesso Aberto da FAO com dados de Produtividade da Água (2.2.2).

2.2.1 Produtividade específica da água das culturas

A Figura 7 apresenta o fluxo de trabalho para a realização da análise específica da produtividade da água. A produtividade da água é, em última análise, calculada com o AquaCrop. 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. Esta informação está integrada com o modelo AquaCrop para calibrar o modelo e calcular a produtividade da água. A vantagem de combinar observações de detecção remota de sensores voadores e modelação de simulação, é que a percepção espacial é adquirida na diversidade de práticas de gestão agrícola. Assim, para cada campo, a simulação aquaCrop mais adequada é selecionada para ser representativa para esse campo. Nas secções seguintes são elaborados os vários métodos utilizados, nomeadamente as imagens dos sensores voadores (2.3), e a modelação de simulação de culturas com AquaCrop (2.4).

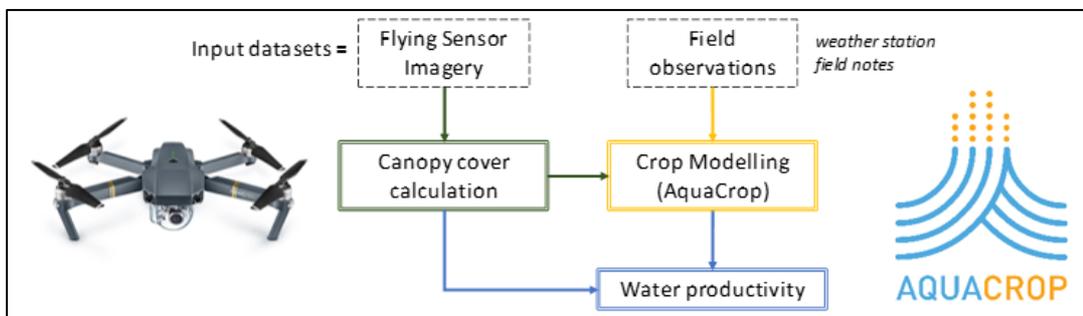


Figura 7. Fluxo de trabalho para o cálculo da análise específica da produtividade da água das culturas

2.2.2 Produtividade da água de biomassa

O WaPOR é o portal de dados de produtividade da água 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 delimitação das capturas é apresentada na figura 6 para as áreas seleccionadas.

A camada de cobertura de terra em WaPOR foi usada para determinar a localização das terras agrícolas nas bacias. O procedimento para esta análise segue as orientações fornecidas pelo projeto WaterPIP (Produtividade da Água na Prática) e o fluxo de trabalho é apresentado esquematicamente na Figura 8.

Na secção 2.5, os conjuntos de dados WaPOR utilizados para esta análise, são descritos com mais detalhes.

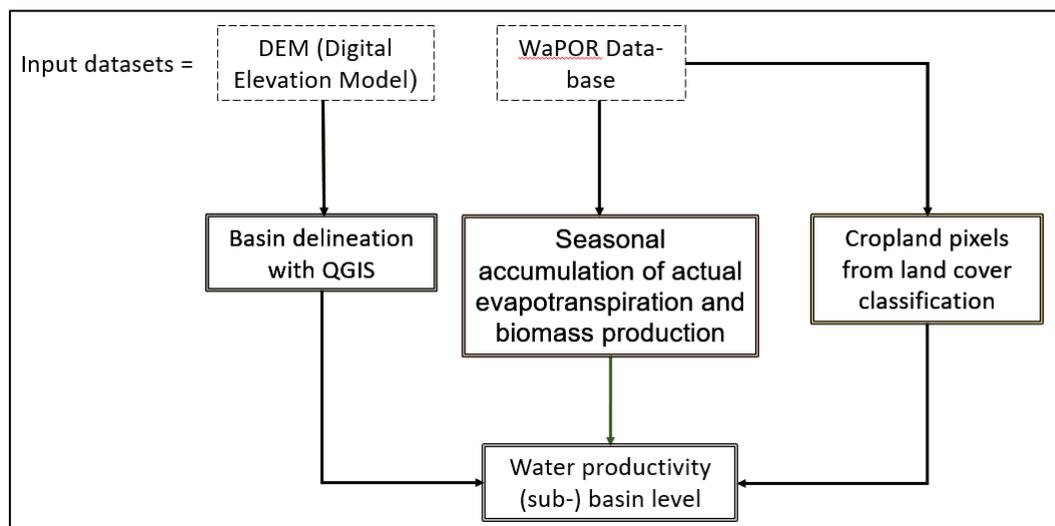


Figura 8. Fluxo de trabalho para análise da produtividade da água de biomassa

2.3 Imagens de sensores voadores

2.3.1 Equipamento de sensor voador

O equipamento de sensor voador utilizado em APSAN-Vale são um drone Mavic Pro e uma câmara adicional para detetar o estado da vegetação. Figura 9 mostra uma foto do Sensor Voador usado, incluindo ambas as câmaras. Uma câmara faz imagens RGB (vermelho-verde-azul), semelhantes a imagens visuais vistas com o olho humano. A segunda câmara mede o comprimento de onda perto de Infravermelhos, que não é visível para o olho humano. O comprimento de onda de infravermelhos próximo (NIR) tem uma boa resposta às condições da vegetação. Figura 10 dá um ilustração da resposta às condições stressadas de uma folha. Se a folha estiver em ótima saúde, o comprimento de onda NIR tem uma resposta elevada. Se a folha estiver em condições stressadas ou doentes, o comprimento de onda NIR tem uma resposta mais baixa. Isto já é medido pelo comprimento de onda NIR antes de ser visível ao olho humano.



Figura 9. Foto do sensor voador em ação

Outra vantagem de utilizar os Sensores Voadores neste projeto é a flexibilidade para a captura de imagens e a resolução espacial elevada das imagens adquiridas. Os sensores voadores podem fazer voos quando necessário nos intervalos desejados. Para este projeto, a frequência de aquisição de imagens foi direcionada uma vez a cada 3 semanas, o que melhor capta 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 titular.

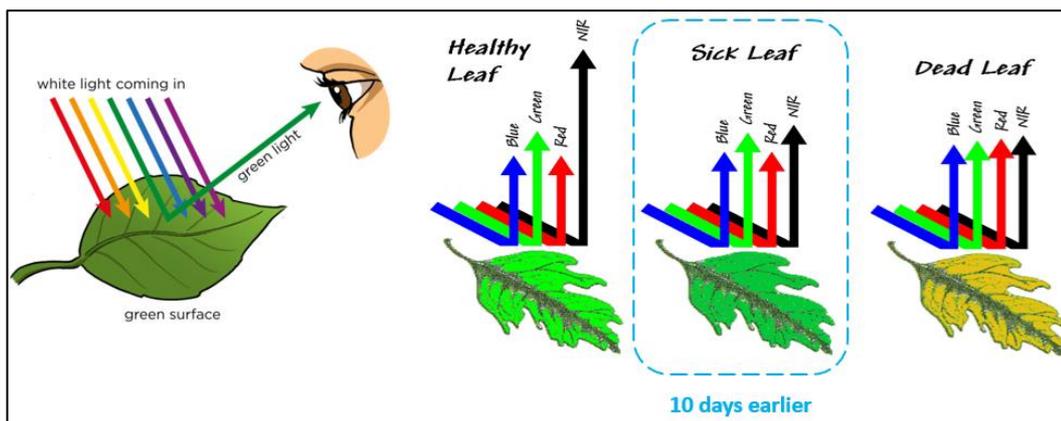


Figura 10. Ilustração explicando a resposta do comprimento de onda de infravermelhos próximo (NIR) ao estado da vegetação

2.3.2 Aquisição de imagens

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, Nhamatanda e Moatize foi de 53, 24 e 33, respectivamente. A área total monitorizada com os sensores voadores era de 220 ha., 160 ha., e 200 ha. para Báruè, Nhamatanda e Moatize, respectivamente.

Tabela 3. Visão geral dos voos e da área durante a Temporada de Rainfed de 2020-2021

| | Báruè | Moatize | Nhamatanda |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| Novembro | 24 a 26 de novembro de 2020 | | 24 de novembro de 2020 |
| Dezembro | | 1 a 3 de dezembro de 2020 | |
| Janeiro | 5-7 janeiro 2021 | 12-13 janeiro 2021 | 7 de janeiro de 2021 |
| Fevereiro | 2 a 4 de fevereiro de 2021 | 16-18 fevereiro 2021 | 4 de fevereiro de 2021 |
| Março | 2 a 4 de março de 2021 | 23 a 25 de março de 2021 | 3, 12 março 2021 |
| Abril | 5-9 abril 2021 | | |
| Voos realizados | 53 | 33 | 24 |
| Área coberta | 220 ha | 200 ha | 160 ha |

2.3.3 Processamento de imagens

As imagens adquiridas pelos Sensores Voadores são submetidas a um processamento adicional. Em primeiro lugar, as imagens únicas de cada voo são cosidos para formar um mosaico ortho. Estes são então georreferenciados para que possa ser usado em análises geoespaciais adicionais. Estes passos são realizados utilizando pacotes de software: Agisoft Metashape e QGIS (software geoespacial).

Os próximos passos de processamento são necessários para obter uma série de mapas de cobertura de vela. Foram calculados vários passos utilizando a codificação R para tornar o processamento mais eficiente. A banda NIR da imagem é 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 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 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.

2.4 Modelação de simulação de cultura

2.4.1 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 são relatados nos papéis de irrigação e drenagem da FAO #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)⁵⁶⁷. 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)⁸⁹ e para avaliar cenários de agendamento de irrigação (Goosheh et al., 2018)¹⁰. É especialmente recomendado para aplicação ao nível da exploração em pequena escala. Além disso, trata-se de um modelo de código aberto que está livremente disponível para aplicação. Assim, o modelo adequado para fins APSAN-Vale.

A FAO tem parâmetros de modelo pré-estabelecidos para simular a cobertura da copa, a transpiração real das culturas e a evaporação do solo, a biomassa e o rendimento das culturas durante um período de crescimento, desde a sementeira até à colheita (Figura 11). 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 copa, diminuição da cobertura da copa, índice de colheita, stress de fertilidade e cobertura de ervas aromedidas.

⁵ 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.

⁶ 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.

⁷ 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

⁸ den Besten, N., Simons, G. e Hunink, J.: Avaliação da produtividade da água utilizando sensores voadores e modelação de colheitas. Estudo piloto para o Milho em Moçambique, 2017.

⁹ Van Opstal, J.D. 2019. APSAN-Vale Produtividade Da Água Temporada 2018/2019. Relatório FutureWater.

¹⁰ GooshehM., Rio PaziraE., Gholami, A., 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.

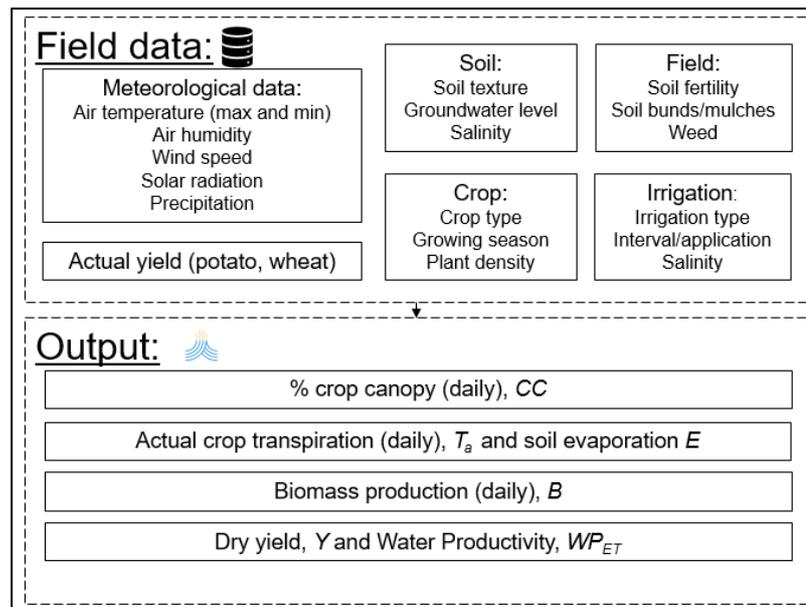


Figura 11. Dados de campo e simulações de saída do modelo AquaCrop

2.4.2 Dados de entrada

O tempo

Os dados meteorológicos são necessários como entrada para o modelo, que foi derivado de diferentes fontes. As estações meteorológicas (do TAHMO) foram instaladas em cada escritório distrital para representar as condições meteorológicas na área. Estas estações estiveram operacionais a partir de fevereiro/março de 2019 e ao longo do projeto. Os dados de precipitação sofreram algumas avarias no equipamento; portanto, os dados de precipitação foram substituídos por dados CHIRPS da detecção remota por satélite. Além disso, os dados meteorológicos médios a longo prazo foram adquiridos a partir da WaPOR e dos produtos de dados de satélite GLDAS. Isto é explicado no relatório de avaliação de base (Relatório FutureWater 195).¹¹

Dados de campo

O próximo passo é recolher informações básicas sobre as culturas dos locais selecionados (Báruè, Moatize e Nhamatanda). Informações básicas sobre datas de plantação, densidade vegetal, comprimento total de crescimento (duração do ciclo de cultura) e rendimento das culturas são fundamentais para obter 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 para fazer a simulação adaptada à situação do PCP. No anexo 1, podem ser encontrados os dados relativos às decisões de gestão.

No modelo AquaCrop devem ser utilizados vários parâmetros de cultura para simular a cobertura específica da copa, a transpiração, a biomassa e o rendimento durante a época de crescimento 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 ($^{\circ}C$ days). Os Crescentes Dias de Grau explicam os efeitos dos regimes de temperatura na fenologia. Para a Couve e Cebola, obtivemos a informação do parâmetro de

¹¹ Vum Opstal, J.D., A. Kaune. 2020. Relatório Técnico da Produtividade da Água - Avaliação de base para a APSAN-Projeto Vale. Relatório FutureWater 195.

cultura de outros estudos (Agbemabiese et al., 2017; Pawar et al., 2017; Pérez-Ortolá et al., 2015; Wellens et al., 2013).

Devem ser afinados parâmetros específicos do modelo de cultura para obter rendimentos precisos das culturas. No quadro 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. O comprimento de estágios de cultivo específicos é utilizado no modo Growing Degree Days (°C dias) para Milho, Sorgo, Feijão, Arroz, Tomate e Batata. Para repolho e cebola, o modo dias de calendário é usado com base nos estudos mencionados. 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 culturas selecionadas em Bárue, Moatize e Nhamatanda

| | Milho | Sorgo | Feijão | Arroz | Tomate | Batata | Couve* | Cebola* |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Hi (%) | 20 | 10 | 30 | 50 | 60 | 80 | 50 | 40 |
| CGC (-) | 0.0050 | 0.0048 | 0.0049 | 0.0084 | 0.0075 | 0.0162 | 0.1190 | 0.1190 |
| CDC (-) | 0.0040 | 0.0039 | 0.0044 | 0.0060 | 0.0040 | 0.0020 | 0.1000 | 0.1000 |
| Da sementeira ao surgimento(°C dias) | 132 | 210 | 88 | 40 | 43 | 310 | 2 | 6 |
| Da sementeira à profundidade máxima de enraizamento(°C dias) | 2324 | 2453 | 1332 | 296 | 891 | 1672 | 40 | 77 |
| Da sementeira à senescência inicial(°C dias) | 2310 | 2447 | 1354 | 1040 | 1553 | 1525 | 86 | 45 |
| Da sementeira à maturidade (duração do ciclo de cultura) (°C dias) | 2805 | 2728 | 1947 | 1520 | 1933 | 1977 | 100 | 85 |
| Da sementeira à floração (°C dias) | 1452 | 1613 | 834 | 920 | 525 | 852 | 28 | 67 |
| Comprimento do estágio de floração (°C dias) | 297 | 474 | 349 | 280 | 750 | 1 | 40 | 18 |

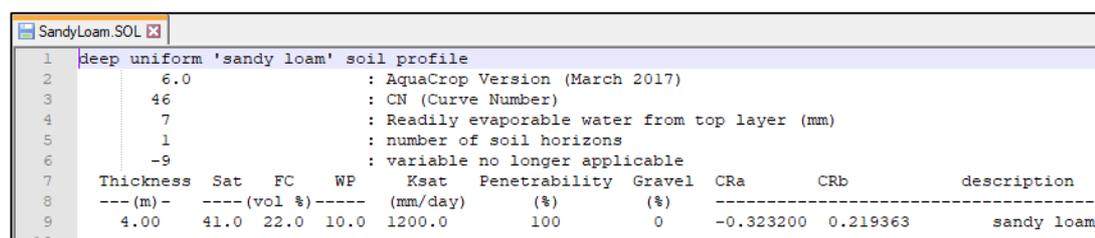
*Estágios crescentes em dias de calendário.

Informação sobre gestão de solos e de campo

De acordo com informações recolhidas no campo, a textura do solo de cada local foi determinada. As propriedades hidráulicas do solo estão correlacionadas com a textura do solo. O modelo AquaCrop inclui propriedades hidráulicas pré-estabelecidas, tais como Capacidade de Campo (FC) e Ponto De Wilting (WP) para cada textura do solo. Os valores da capacidade de campo e do ponto de murcha são fundamentais para determinar a capacidade de armazenamento de água do solo e determinar os limiares de stress da água. Na Tabela 5 são mostradas as texturas do solo obtidas para cada local. O tipo de solo para Bárue foi atualizado na última temporada após novos dados de campo adquiridos. Na Figura 12, um exemplo dos valores FC e WP (FC=22%, WP=10%) utilizado no modelo AquaCrop são mostrados para loam arenoso.

Tabela 5. Textura do solo em cada site

| Site | Textura do solo |
|------------|-------------------------|
| Bárue | 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
```

Figura 12. Característica do solo em Moatize

2.4.3 Processo de calibração

A cobertura da copa segue uma tendência curvilínea positiva ao longo da época de cultivo, representando o desenvolvimento da cultura até cobertura completa. Os sensores voadores monitorizam a cobertura da capota durante toda a estação de cultivo e, assim, capturam em intervalos frequentes parte da tendência curvilínea. Esta tendência curvilínea também é simulada no AquaCrop. Para o processo de calibração, a cobertura da capota dos sensores voadores é comparada com a cobertura de vela simulada AquaCrop. Isto é feito para os dias em que os sensores voadores adquiriram uma imagem. Na Tabela 3 notou-se que para cada distrito ocorreram quatro momentos de voo durante a estação de cultivo de moscas. Assim, isto fornece 4 pontos para determinar a relação curvi-linear. A cobertura máxima da capota é utilizada para comparar com as simulações AquaCrop.

O modelo AquaCrop está configurado utilizando os módulos e dados de entrada, tal como foi listado nas secções anteriores. São selecionados vários parâmetros de gestão agrícola que podem ser variáveis. Estas são particularmente as variáveis que são sensíveis no AquaCrop e não podem ser medidas com precisão no campo. Os parâmetros selecionados para a calibração são a densidade da planta, o stress dos fertilizantes e a cobertura de ervas arom sós. Depois de executar as várias combinações (27 simulações total por campo) as simulações superiores (1 - 5) foram selecionadas exibindo erro limitado com a tampa da capota, conforme observado nas imagens do sensor voador.

2.5 Conjuntos de dados WaPOR

A base de dados FAO WaPOR contém vários conjuntos de dados derivados da deteção remota por satélite e está disponível através do portal de dados de acesso aberto: <https://wapor.apps.fao.org>. As camadas utilizadas pela WaPOR são: evapotranspiração real e de referência (ET), produção de biomassa, produtividade da água, precipitação e cobertura terrestre. Informações detalhadas sobre a

metodologia encontram-se nos documentos de referência da WaPOR. As camadas de dados foram descarregadas para Moçambique e agregadas para encontrar valores sazonais para a estação da chuva: dezembro de 2020 a abril de 2021.¹²

2.5.1 Evapotranspiração real

A evapotranspiração real é calculada usando um algoritmo de equilíbrio energético superficial com base nas equações do modelo ETLook. Usa uma plataforma de satélite com aquisição de imagens multi-espectrais e térmicas. Adicionalmente, os dados meteorológicos de produtos de dados de detecção remota são usados 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 wapor utilizado neste relatório é do nível II (100 metros) para cada decadal (10 dias). Uma soma para a estação de água de chuva é calculada em QGIS.

2.5.2 Produção de biomassa

A produção de biomassa foi calculada utilizando a camada de dados decadal líquida de produção primária (NPP) da WaPOR. Os dados do NPP são 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 é resumida para a estação de chuva. Note-se que a WaPOR calcula a produção de biomassa para as culturas C3, que são a maioria das culturas cultivadas globalmente. Todavia, a determinação da produção de biomassa para as culturas C4 (por exemplo, milho, cana-de-açúcar) requer uma multiplicação de aproximadamente 1,8 (=4,5/2.5) para corrigir a diferença na eficiência da utilização da luz entre as duas culturas. O rendimento das culturas pode ser calculado posteriormente utilizando o índice de colheita, que é específico para cada tipo de cultura e variedade de culturas (cultivar).¹⁴

2.5.3 Camadas suplementares

A WaPOR também fornece um produto de dados de precipitação, nomeadamente dados CHIRPS. Isto fornece dados de precipitação espacial a 5 km de resolução nas etapas diárias. Estes dados são utilizados suplementarmente aos dados da estação meteorológica para preencher lacunas de dados onde os dados da estação meteorológica não foram instalados.

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.

2.6 Normalização para as condições meteorológicas anuais

Para a avaliação de base foi utilizado um período de 17 anos para a análise da escala de campo (2001 – 2017) e 10 anos para a análise da escala da bacia (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

¹² Rio WaPOR Metodologia de Base de Dados: Dados de nível 1 (setembro de 2018)
<http://www.fao.org/3/I7315EN/i7315en.pdf>

¹³ Bastiaanssen et al. (2012)

¹⁴ Hilker e outros. (2008) e várias outras publicações

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, portanto, 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 de produtividade da água é calculada utilizando a equação abaixo (como exemplo utilizando o ano de 2019) e utilizando a evapotranspiração de referência (ET_0) como representativa para as condições meteorológicas anuais. Esta equação e metodologia são descritas por Bastiaanssen e Steduto (2016), como um método para comparar a produtividade da água entre anos e regiões com diferentes condições climáticas.¹⁶

$$WP_{norm,2019} [kg/m^3] = \frac{WP_{2019} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times ET_{0,average\ 2000-2019} [mm]}{ET_{0,2019} [mm]}$$

¹⁵ Vum 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., e 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>

3 Resultados climáticos sazonais

3.1 Evapotranspiração de referência

Nas estações meteorológicas TAHMO em cada distrito, os dados meteorológicos são medidos, e a evapotranspiração de referência é calculada. A evapotranspiração média de referência de cinco dias (ET) durante a estação de chuva é mostrada na Figura 13. ¹⁷Os três distritos apresentam um padrão semelhante na referência ET. A referência ET é maior no início da temporada aproximadamente 1 - 2 mm/dia, e menor durante o resto da temporada.

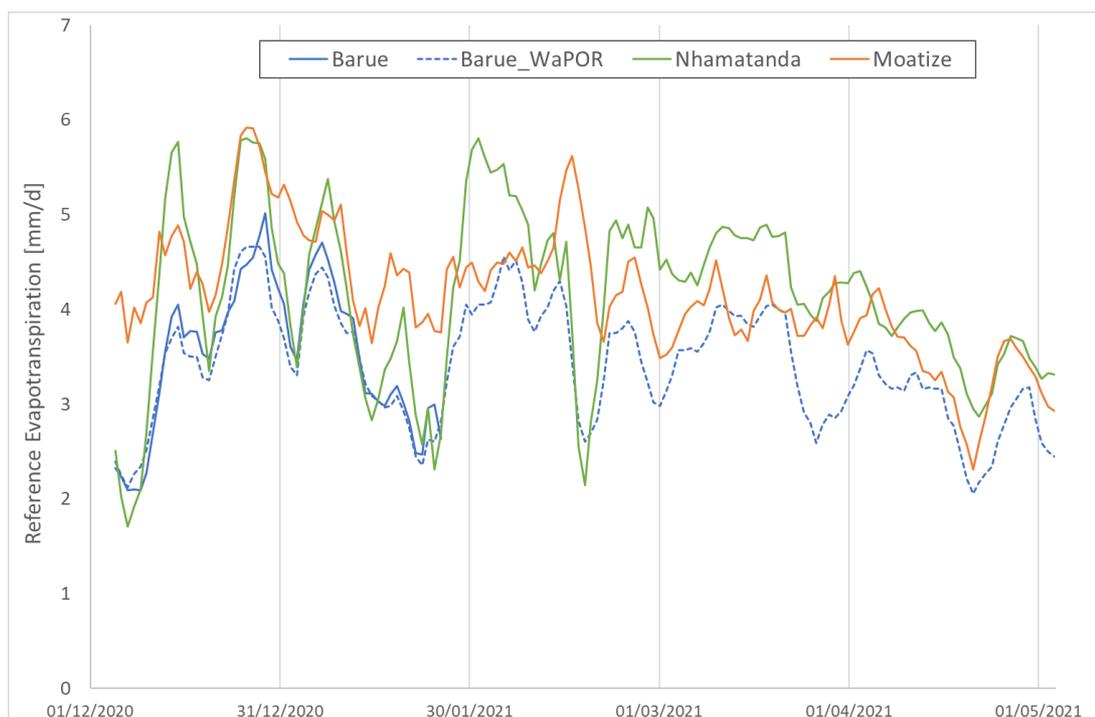


Figura 13. Cinco dias de referência média evapotranspiração para os três distritos durante a temporada de chuva 2020-2021 das estações TAHMO e complementada com dados da WaPOR para Bárue

As condições meteorológicas durante a época de 20-2021 são comparadas com o conjunto histórico de dados de 2001 a 2018, como usado na avaliação de base. Este conjunto de dados histórico abrange uma multiplicidade de condições meteorológicas, tanto anos secos como húmidos, e, portanto, é uma boa representação das condições meteorológicas "normais". A evapotranspiração média mensal de referência é comparada com os 2020 valores mensais apresentados na Figura 14. Todos os resultados são derivados dos produtos de dados de satélite, evitando assim as dissemelhanças devido a diferentes métodos de medição.

A figura 14 mostra que a referência ET para Bárue foi ligeiramente mais baixa a cada mês desta temporada em comparação com a média de longo prazo. As mesmas contas para o Moatize, exceto os meses de março e abril. Para Nhamatanda, o ET de referência foi mais elevado a cada mês, em particular durante os primeiros meses. Isto pode ter impacto nos resultados de modelação das culturas que têm dados meteorológicos como entrada. Note-se que a produtividade da água é calculada com evapotranspiração no denominador que é parcialmente determinada pela evapotranspiração de referência durante a temporada.

¹⁷ <https://tahmo.org/>

A referência sazonal total ET é apresentada no Quadro 6 para esta temporada e a média de longo prazo para a estação de chuva. Estes valores são utilizados na normalização dos resultados da produtividade da água, tal como apresentados na secção 2.6 deste documento.

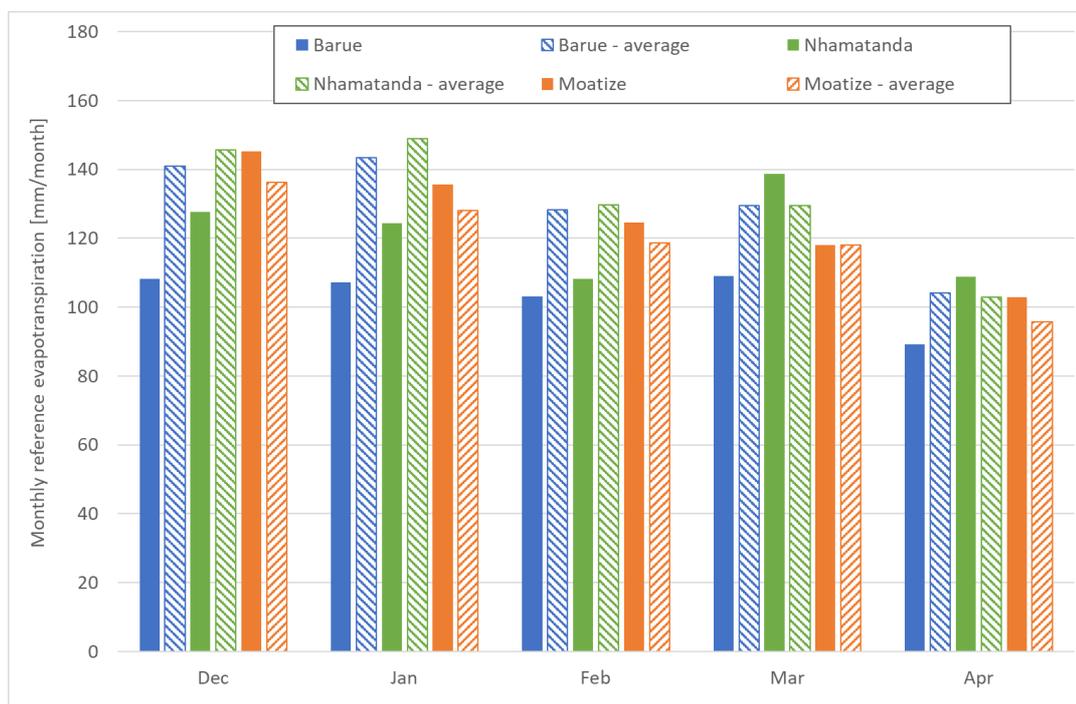


Figura 14. Comparação entre 2020 e 2021 de referência mensal evapotranspiração com média de longo prazo (2009-2018) com o produto portal de dados WaPOR

Tabela 6. Evapotranspiração total sazonal de referência para os três distritos durante a época chuvosa 2020-2021, e a média de longo prazo (2001-2018) da chuva

| | Báruè | Moatize | Nhamatanda |
|------------------------------|-------|---------|------------|
| Referência ET 2020-2021 [mm] | 517 | 626 | 608 |
| Referência ET Média [mm] | 647 | 597 | 657 |

3.2 Precipitação

A estação dos ventos de chuva caracteriza-se por fortes e erráticos eventos de chuva. As chuvas registadas nas estações TAHMO apresentaram algumas avarias no equipamento, pelo que os dados de satélite do CHIRPS são utilizados nos três distritos. como apresentado nas Figuras 15. Este número apresenta a precipitação diária e indica vários eventos de precipitação que ocorrem com intensidades até 85 mm/dia. Os eventos de precipitação de alta intensidade foram observados principalmente em Nhamatanda e Báruè.

A figura 16 apresenta a precipitação total mensal e sazonal para cada distrito e compara com a média de longo prazo (2001-2018) utilizando dados de satélite. O número mostra que, durante o período de dezembro a fevereiro, a precipitação em Báruè foi (muito) superior à média de longo prazo. Para os outros distritos, a precipitação foi semelhante à média de longo prazo, com exceção de Nhamatanda em fevereiro (mais alto) e março (menor). Os agricultores monitorizados durante a época de secas de chuva dependem apenas da precipitação como fonte de água para o solo e as culturas. Portanto, a precipitação durante a estação pode ser um fator limitativo para a produção da área.

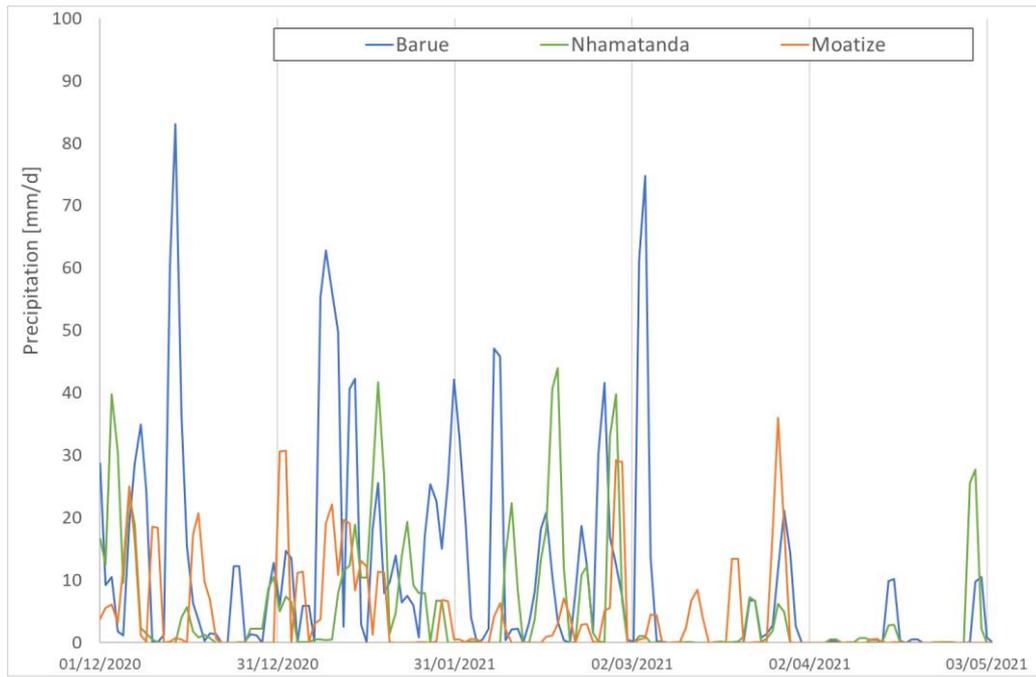


Figura 15. Precipitação diária para 2020-2021 das estações meteorológicas do TAHMO

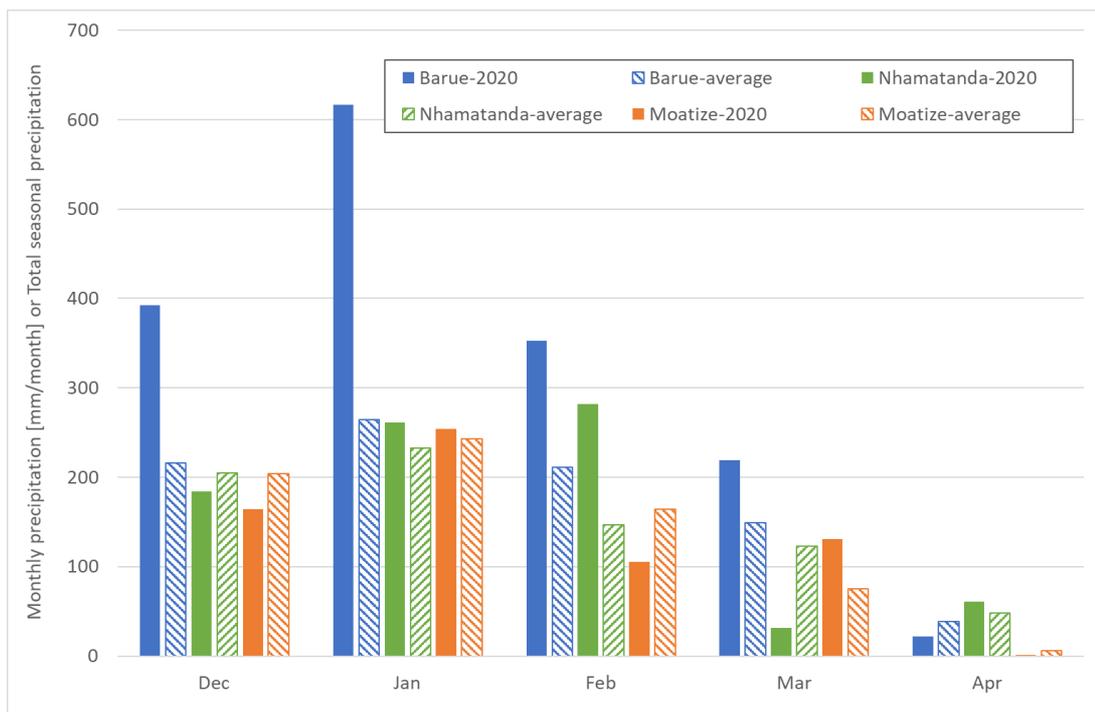


Figura 16. Comparação da precipitação mensal 2020-2021 com a média de longo prazo (2001-2018) com o CHIRPS

4 Resultados da produtividade da água à escala de campo

4.1 Imagens de sensores voadores

4.1.1 Mapas de campo para inscrição

No início da temporada foi utilizada a primeira imagem de voo para registar os campos dos PPCs selecionados para monitorização. Um exemplo de um destes mapas é mostrado na figura abaixo, Figura 17. Estes mapas indicam os limites do campo, área do campo, tipo de cultura e nome do agricultor, incluindo o código registado como usado em mWater para monitorização de campo. Os mapas foram adicionados ao livro de campo (caderno de campo) de cada PCP. As alterações nos campos e nos tipos de culturas poderiam ser corrigidas nos seguintes mapas.

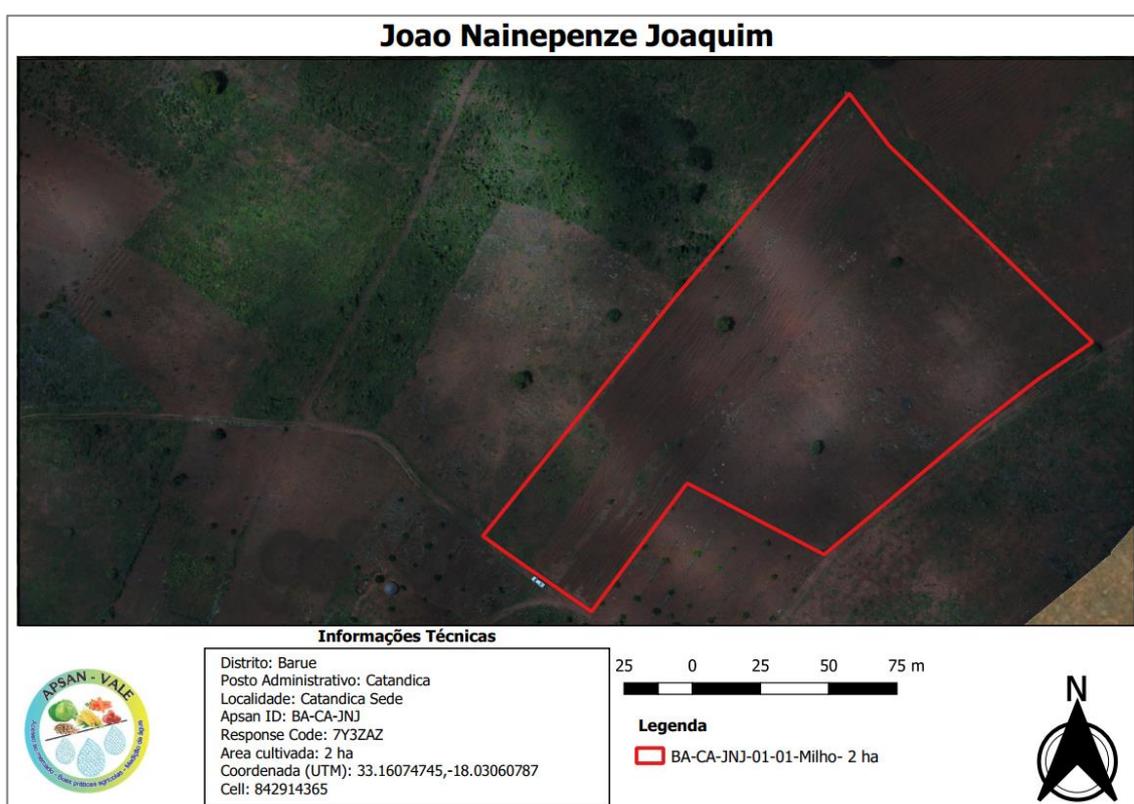


Figura 17. Mapa de registo de campo do PCP (pequeno agricultor comercial) João Nainepenze Joaquim (exemplo)

4.1.2 Mapas de campo para monitorização da vegetação

O segundo conjunto de mapas foi partilhado durante a época de crescimento para monitorizar o crescimento das culturas. As imagens são mostradas de dois ou três voos para indicar o desenvolvimento da cultura. Um exemplo de um mapa de campo é mostrado na página seguinte, Figura 18. A imagem visual (RGB, vermelho-verde-azul) é indicada para uma interpretação mais fácil, uma vez que esta é mais compreensível. O estado da vegetação é indicado em cores vermelhas que indicam a cobertura de vegetação baixa, e cores verdes indicando alta cobertura de vegetação.

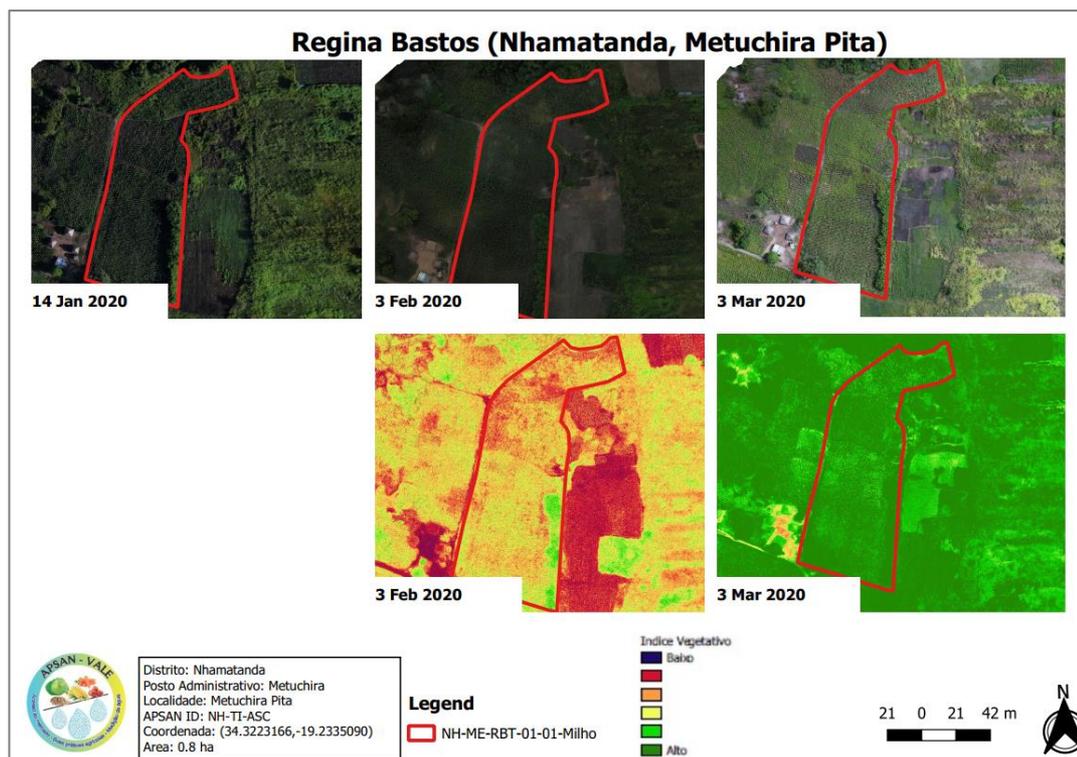


Figura 18. Desenvolvimento do estatuto de vegetação do PCP (pequeno agricultor comercial) Regina Bastos em Nhamatanda, Metuchira Pita (exemplo)

4.1.3 Portal do sensor voador APSAN-Vale

A informação a partir das imagens do sensor voador é divulgada através de mapas impressos (conforme descrito nas secções anteriores) e através de um portal de dados online. Todos os mapas de estado visual e vegetativo podem ser encontrados no portal online. No ano passado, foram feitos esforços substanciais para divulgar os mapas feitos pelos operadores de sensores voadores para um público maior online, através do portal APSAN-Vale Flying Sensor. O portal pode ser acedido através de <https://futurewater.eu/apsanvaleportal/>.

Desde o início do desenvolvimento do portal APSAN Vale, estão a ser implementadas atualizações para garantir que o portal atende às necessidades e desejos dos operadores e agricultores. Os mapas dos sensores voadores são enviados automaticamente para o portal depois de terem sido processados pelos operadores locais. Desta forma, a equipa operacional pode facilmente aceder aos mapas no campo para observar áreas de maior ou menor produtividade da água, utilizando um tablet, portátil ou smartphone. Uma imagem do portal atualizado é mostrada na Figura 19. Atualmente, a possibilidade de descarregar todas estas novas informações num ficheiro pdf que pode ser entregue pelo operador ao agricultor também está a ser atualizada. Portanto, a funcionalidade "download para pdf" encontra-se atualmente fora de serviço, mas estará novamente em funcionamento em breve. Desta forma, os mapas podem ser descarregados no escritório (ou em qualquer lugar com ligação à Internet suficiente) e depois ser usados offline no campo.



Figura 19. Screenshot do portal de sensores voadores APSAN-Vale atualizado, mostrando a opção de selecionar um mapa no lado esquerdo, o mapa do estado da vegetação no meio e alguns comentários de exemplo na secção direita

4.2 Cobertura de dossel

Todas as imagens de sensores voadores foram utilizadas para determinar a cobertura de 1x1 metros de pixels em cada campo dos PPCs selecionados. Os campos que observam a cobertura completa por vegetação resultarão em valores elevados para a cobertura da capota. As imagens dos sensores voadores foram tiradas em intervalos regulares (3-4 semanas), o que dá assim uma boa apresentação do desenvolvimento da cultura ao longo da temporada, calculando a cobertura da copa. Os resultados de um campo de milho do PCP Lopes em Moatize são apresentados na Figura 20 para quatro datas de voo durante a temporada, como exemplo. Para os três lotes de milho (*parcelas*) pertencentes a Lopes, o enredo certo exibe menos cobertura de dossel ao longo da temporada, enquanto os outros dois terrenos indicam mais vegetação. Para todos os lotes, um pico ocorre em janeiro da vegetação.



Figura 20. Canopy sobre desenvolvimento sobre um campo de milho (PPC Lopes em Moatize) para quatro datas de voo (exemplo)

Após determinar a cobertura da copa para todos os campos, desenvolve-se uma relação curvilínea, apresentando o desenvolvimento da cultura durante a época de cultivo.

Os gráficos curvilíneos são mostrados para três agricultores APSAN-Vale nas Figuras 21, 22 e 23 do Moatize. O gráfico mostra que o pico da cobertura da capota ocorre cerca de 100 a 120 dias após a plantação. A cobertura máxima da copa é de 60%, 75% e 75%, respectivamente. Estes valores são derivados usando a equação do ajuste polinómico. Os resultados da cobertura da capota são utilizados em combinação com as simulações AquaCrop para determinar a produtividade da água e o rendimento das culturas adequados às condições do campo agrícola.

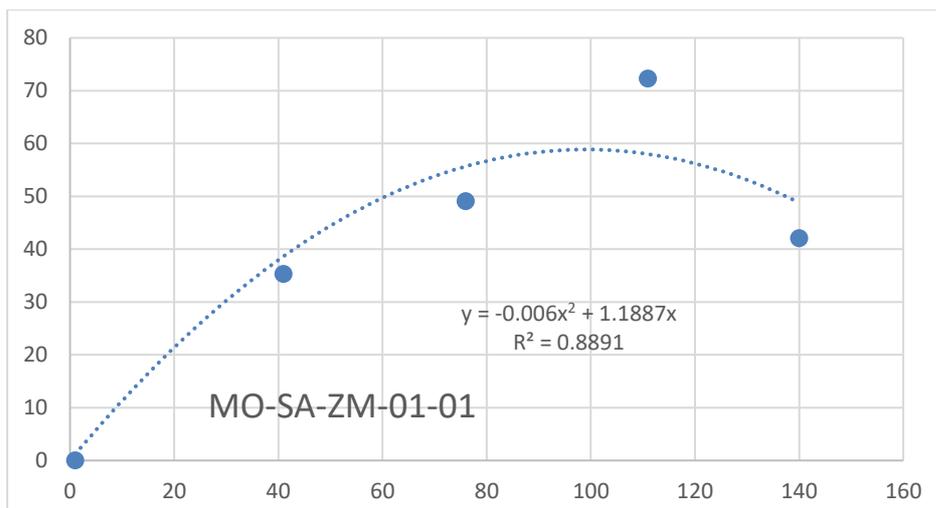


Figura 21. Cobertura de cobertura de vela curvilinear do PPC Zeca Marcelino em Moatize utilizando a cobertura da copa determinada a partir de cinco voos de sensores voadores (indicados com círculos) e a data de plantação (indicada como primeiro círculo em day 0)

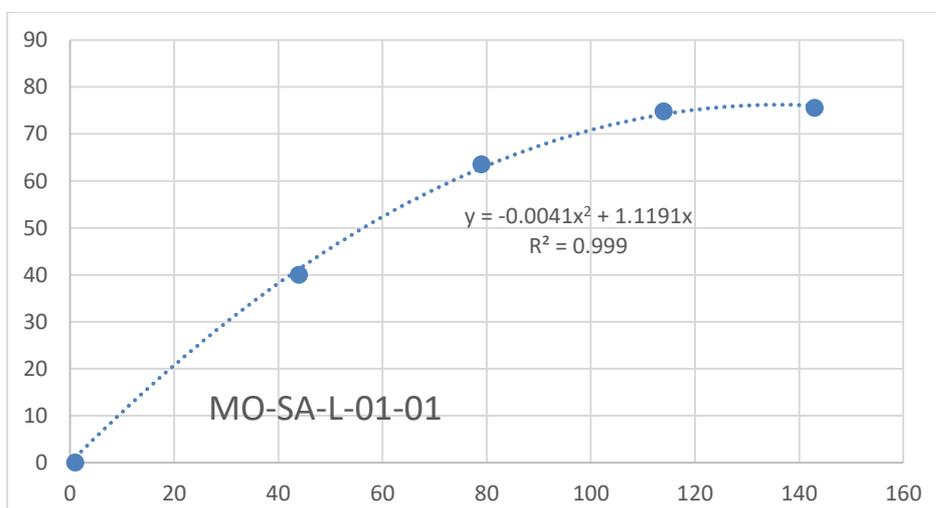


Figura 22. Curva de cobertura de cobertura de PPC Loide Gonalves em Moatize utilizando dados de cinco voos (indicados como círculos) e a data de plantação (indicado como primeiro círculo em day 0)

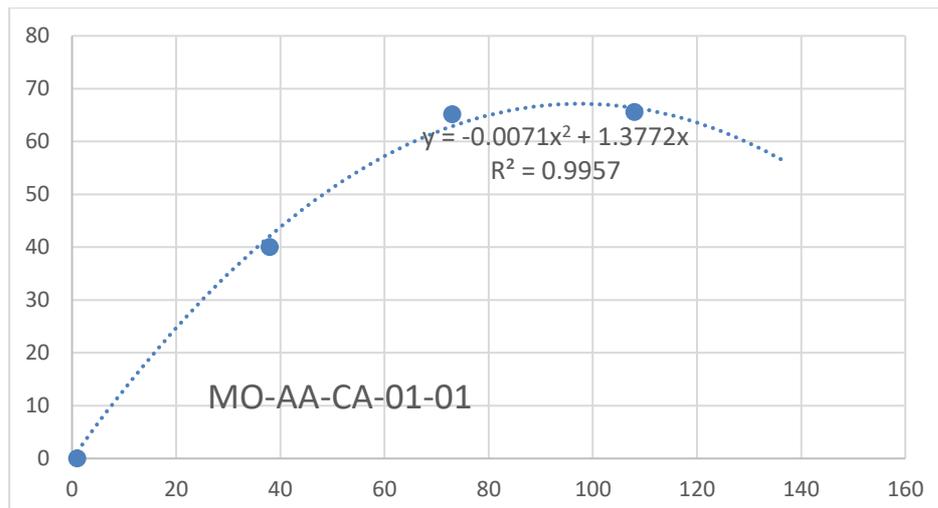


Figura 23. Curva de cobertura de vela do PPC Alfredo Assis em Moatize utilizando dados de quatro voos (indicados como círculos) e a data de plantação (indicada como primeiro círculo em day 0)

4.3 Produtividade da água do AquaCrop

Nas simulações do AquaCrop são realizadas simulações para apresentar o desenvolvimento de culturas e gestão agrícola de cada PCP monitorizado ao longo desta temporada. As decisões de gestão e outros dados de entrada são apresentados no anexo 1 para cada agricultor. A cobertura da capota dos sensores voadores é combinada com as simulações aquaCrop para determinar a produtividade da água e os resultados do rendimento das colheitas. Para Nhamatanda, Moatize e Bárue os resultados da produtividade da água são apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9, respectivamente. Nestas tabelas é apresentada a produtividade da água do milho. Além disso, a produtividade da água é normalizada para as condições meteorológicas utilizando a referência ET do quadro 6 (capítulo 3), e a metodologia tal como descrita na secção 2.6 deste documento. É feita uma comparação com os valores de avaliação de base para a produtividade da água do milho, tal como apresentado no Relatório FutureWater 195. O pressuposto é que estes 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 75, indicando que a linha de base é superior ao valor médio (mediano). Nos resultados é também apresentado o rendimento da cultura, que é o rendimento seco de milho (espiga) calculado pelo AquaCrop. ¹⁸¹⁹

No quadro 7 são apresentados os resultados da produtividade da água e do rendimento das culturas para a Nhamatanda. A produtividade da água varia de 0.38 a 0.66 kg/m³. A produtividade normalizada da água devido à correção para a evapotranspiração de referência relativamente mais elevada este ano em comparação com a média de longo prazo. A base para a produtividade da água do milho em Nhamatanda é de 0,33 kg/m³ o que dá um aumento da produtividade da água de 6% para 86%. Espera-se uma melhoria da produtividade da água, pois estes agricultores implementaram várias boas práticas agrícolas que melhoram a produção e melhoram a gestão da água. A avaliação de base revelou práticas muito limitadas que estão a ser implementadas. Assim, esperam-se grandes melhorias na produtividade da água. Além disso, a maior evapotranspiração de referência durante este ano, em comparação com a média de longo prazo, deu um valor mais elevado de produtividade da água. Isto pode indicar que, durante um ano relativamente seco (e quente) os agricultores podem ser mais eficientes com a sua utilização da água, proporcionando valores mais elevados de produtividade da água. O rendimento das

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

¹⁹ 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.

culturas apresentado no quadro 7 varia entre 1,42 e 2,80 toneladas/ha. Note que os valores mais elevados de produtividade da água não resultam no maior rendimento das culturas.

Tabela 7. Resultados da produtividade da água aquaCrop e rendimento das culturas secas, e por cento da variação da produtividade da água em comparação com a linha de base (percentil 75 = 0,33 kg/m³) para os agricultores deNhamatanda

| Código PPC | Nome | Produtividade da água [kg/m ³] | Produção de água normalizada [kg/m ³] | % de variação com linha de base | Rendimento de cultura seca [tonelada/ha] |
|----------------|-------------|--|---|---------------------------------|--|
| AP_NH_AM_01_01 | Rio Armando | 0.66 | 0.61 | 86% | 2.80 |
| AP_NH_LF_01_02 | Rio Lulu | 0.38 | 0.35 | 6% | 1.42 |
| AP_NH_FB_01_01 | Francisco | 0.56 | 0.52 | 58% | 2.03 |
| AP_NH_FM_01_01 | Flora | 0.60 | 0.56 | 68% | 2.60 |
| AP_NH_JS_01_01 | José | 0.64 | 0.59 | 78% | 2.63 |
| AP_NH_LL_01_01 | Lourenço | 0.52 | 0.48 | 45% | 2.03 |

O quadro 8 apresenta os resultados da produtividade da água para os PPCs selecionados do Moatize. Os valores variam de 0.55 a 0.75 kg/m³ e o aumento em relação à linha de base é de 57% para 112%. A variação dos valores de produtividade da água entre os agricultores foi menos diversificada neste grupo em comparação com Nhamatanda. Isto deve-se, provavelmente, à aplicação de práticas semelhantes. O rendimento da colheita resulta do AquaCrop de 2.19 toneladas/ha a 3.43 toneladas/ha.

Tabela 8. Resultados da produtividade da água do AquaCrop e do rendimento das culturas secas, e por cento da variação da produtividade da água em comparação com a linha de base (percentil 75 = 0,37 kg/m³) para os agricultores de Moatize

| Código PPC | Nome | Produtividade da água [kg/m ³] | Produção de água normalizada [kg/m ³] | % de variação com linha de base | Rendimento de cultura seca [tonelada/ha] |
|----------------|-----------|--|---|---------------------------------|--|
| MO-ZO-AL-01-01 | Alberto | 0.75 | 0.78 | 112% | 3.43 |
| MO-ZO-AC-01-01 | Anderson | 0.68 | 0.72 | 94% | 3.05 |
| MO-SA-ZM-01-01 | Rio Zeca | 0.67 | 0.70 | 89% | 2.85 |
| MO-SA-MC-01-01 | Manuel | 0.64 | 0.67 | 81% | 2.76 |
| MO-SA-L-01-01 | Rio Loide | 0.68 | 0.71 | 92% | 2.82 |
| MO-SA-L-01-02 | Rio Loide | 0.64 | 0.67 | 82% | 2.56 |
| MO-SA-L-01-03 | Rio Loide | 0.64 | 0.67 | 81% | 2.73 |
| MO-MA-AC-01-01 | António | 0.56 | 0.58 | 57% | 2.36 |
| MO-MA-JC-01-01 | João | 0.60 | 0.62 | 69% | 2.28 |
| MO-MA-JC-01-02 | João | 0.57 | 0.60 | 62% | 2.19 |
| MO-MA-JC-01-03 | João | 0.64 | 0.68 | 83% | 2.20 |
| MO-MA-JC-01-04 | João | 0.57 | 0.60 | 62% | 2.19 |
| MO-MA-JC-01-05 | João | 0.57 | 0.59 | 61% | 2.37 |
| MO-MA-JC-01-06 | João | 0.55 | 0.57 | 55% | 2.22 |
| MO-MA-RC-01-01 | Rui | 0.67 | 0.70 | 89% | 2.87 |
| MO-CA-EP-01-01 | Eugidio | 0.60 | 0.63 | 71% | 2.48 |
| MO-AA-CA-01-01 | Alfredo | 0.67 | 0.70 | 90% | 2.76 |

O quadro 9 apresenta os resultados da produtividade da água dos PPCs selecionados em Báruè. Os valores de produtividade da água variam de 0,71 a 0.94 kg/m³. Na avaliação de base, a produtividade

da água para Bárue foi a mais elevada de 0,41 kg/m³. Isto deve-se principalmente às condições meteorológicas favoráveis que se aproximam da serra, tendo assim eventos regulares de precipitação. O mesmo aconteceu durante esta época, com a precipitação acima da média de longo prazo, sendo a evapotranspiração de referência inferior à média. Após a normalização, a comparação com a linha de base deu uma variação de 39% para 84%. O rendimento da colheita variava de 1.96 a 3,03 toneladas/ha, exibindo assim os rendimentos mais baixos dos três distritos. Apesar dos eventos regulares de chuva, é provável que as condições mais frias possam resultar em menor produção, limitando o processo de fotossíntese para a produção de biomassa. Além disso, as práticas de gestão e as condições biofísicas locais, como o tipo de solo, influenciam o rendimento das culturas.

Tabela 9. Resultados da produtividade da água do AquaCrop e do rendimento das culturas secas, e por cento da variação da produtividade da água em comparação com a linha de base (percentil 75 = 0,41 kg/m³) para os agricultores de Bárue

| Código PPC | Nome | Produtividade da água [kg/m ³] | Produção de água normalizada [kg/m ³] | % de variação com linha de base | Rendimento de cultura seca [tonelada/ha] |
|-----------------|-------------|--|---|---------------------------------|--|
| AP_BA_ARM-01-01 | António | 0.92 | 0.73 | 79% | 2.88 |
| AP_BA_DDC-01-01 | Dalton | 0.93 | 0.74 | 81% | 2.96 |
| AP_BA_FLM-01-01 | França | 0.80 | 0.64 | 56% | 2.32 |
| AP_BA_LSM-01-01 | Rio Lopis | 0.91 | 0.73 | 78% | 3.03 |
| AP_BA_OJ-01-01 | Rio Orlando | 0.89 | 0.71 | 74% | 2.56 |
| AP_BA_RET-01-01 | Ricardo | 0.78 | 0.63 | 52% | 2.57 |
| AP_BA_JLC-01-01 | João | 0.71 | 0.57 | 39% | 1.96 |
| AP_BA_VT-01-01 | Vitória | 0.85 | 0.68 | 66% | 2.43 |
| AP_BA_ACI-01-01 | Ananias | 0.94 | 0.75 | 83% | 2.16 |
| AP_BA_ML-01-01 | Manuel | 0.78 | 0.62 | 51% | 2.26 |
| AP_BA_JDR-01-01 | Joelmo | 0.94 | 0.75 | 84% | 2.94 |

4.4 Mapas de produtividade da água de campo

Os resultados da produtividade da água do AquaCrop e do Sensor Voador são apresentados em mapas de campo da produtividade da água nas figuras 24, 25 e 26, para Nhamatanda, Bárue Moatize, respectivamente. Para cada PPC, os valores de produtividade da água são apresentados, incluindo a alteração com a linha de base e a área em ha. Os valores de produtividade da água variam de médio (amarelo) a alto (luz a verde escuro). A maioria dos agricultores monitorizados durante esta época apresentou melhorias médias elevadas, a melhorias muito elevadas da produtividade da água em comparação com a linha de base.

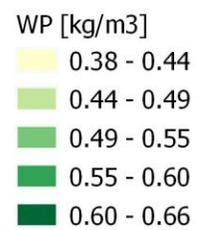
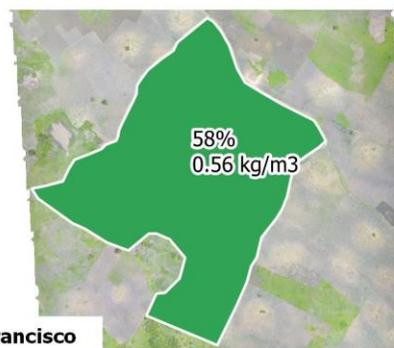
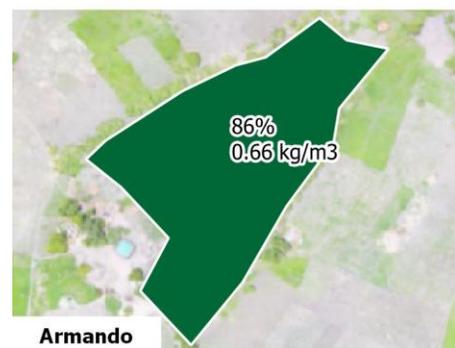
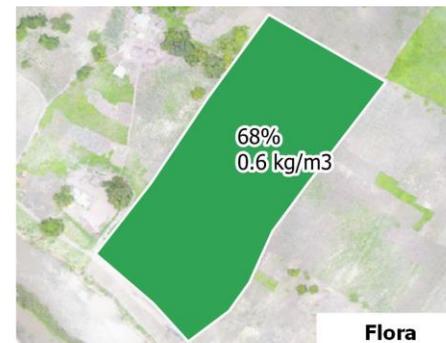
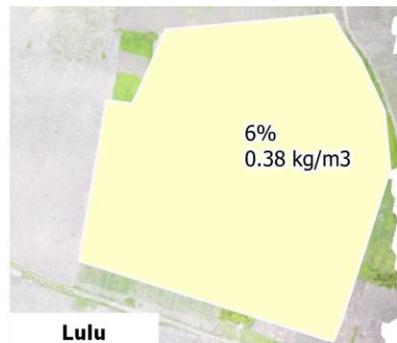


Figura 24. Mapas de produtividade da água no campo dos agricultores de Nhamatanda, incluindo a produtividade da água do milho, aumento percentual em comparação com a linha de base (percentil 75)



Figura 25. Mapas de produtividade da água no campo dos agricultores de Bárue, incluindo a produtividade da água do milho, aumento percentual em comparação com a linha de base (percentil 75)



Figura 26. Mapas de produtividade da água no campo dos agricultores de Moatize, incluindo a produtividade da água do milho, e aumento por cento em comparação com a linha de base (percentil 75)

5 Resultados da produtividade da água da 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 um 300 ha. área em torno de cada PPC selecionado como descrito na secção 2.1.2. deste documento e apresentado nas figuras 3, 4 e 5.

Os dados do portal WaPOR foram alcançados para a temporada de chuva 2020-2021:20 de dezembro de 20 a abril de 2021. 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 10 para cada local.

Os valores mais elevados de produtividade da água encontram-se consistentemente em Báruè, devido ao clima favorável nesta região. Aqui os valores mais elevados são observados na Catandica II. Os valores mais baixos para a produtividade da água encontram-se em Nhamatanda. Em Moatize a maior produtividade da água encontra-se no Moatize III.

Tabela 10. 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] |
|------------|---------------|------------------------------|------------------------------------|--|
| Báruè | Catandica I | 480 | 8.9 | 1.85 |
| | Catandica II | 470 | 8.8 | 1.87 |
| | Catandica III | 503 | 8.8 | 1.76 |
| | Média | 484 | 8.8 | 1.82 |
| Moatize | Moatize I | 521 | 5.0 | 0.96 |
| | Moatize II | 478 | 5.5 | 1.14 |
| | Moatize III | 505 | 7.0 | 1.38 |
| | Moatize IV | NA | NA | NA |
| | Média | 501 | 5.8 | 1.16 |
| Nhamatanda | Nhamatanda I | 547 | 6.1 | 1.11 |
| | Nhamatanda II | 579 | 6.2 | 1.08 |
| | Média | 563 | 6.1 | 1.09 |

6 Resultados da produtividade da água à escala da bacia

As bacias (sub-)foram delineadas para cada distrito, como mostra a figura 6. Estas delimitações foram usadas com o portal de dados WaPOR para determinar a produtividade da água de biomassa para cada local. O quadro 11 fornece uma visão geral das estatísticas encontradas para a produtividade da água, a evasão e a produção de biomassa para cada bacia e mascarando apenas os pixéis das terras agrícolas. A produtividade da água foi mais elevada para Báruè, seguida de Moatize, e por último Nhamatanda. Báruè exibe a maior produção de biomassa da área.

Tabela 11 Panorâmica das estatísticas da produtividade da água, evapotranspiração e produção de biomassa para as bacias dos distritos de projeto selecionados

| | | Báruè | Moatize | Nhamatanda |
|--|--------------|-------|---------|------------|
| Evapotrans-piration real [mm] | Média média | 576 | 507 | 601 |
| | Percentil 10 | 488 | 414 | 524 |
| | Percentil 90 | 656 | 606 | 699 |
| Produção de biomassa [tonelada/ha] | Média média | 10.3 | 7.9 | 7.5 |
| | Percentil 10 | 8.3 | 6.5 | 6.2 |
| | Percentil 90 | 12.4 | 9.4 | 9.2 |
| Produtividade da água [kg/m ³] | Média média | 1.78 | 1.57 | 1.24 |
| | Percentil 10 | 1.64 | 1.39 | 1.16 |
| | Percentil 90 | 1.94 | 1.75 | 1.41 |

A Figura 27 exibe os mapas de produtividade da água de cada bacia. Em Báruè, a produtividade da água mostra até distribuição. Em Moatize a área a montante 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 mesmo acontece em Báruè, onde se observam valores mais elevados de produtividade da água mais próximos da serra. O número de pixéis de cultivo em Nhamatanda é limitado, pelo que se pode observar uma menor variação espacial.

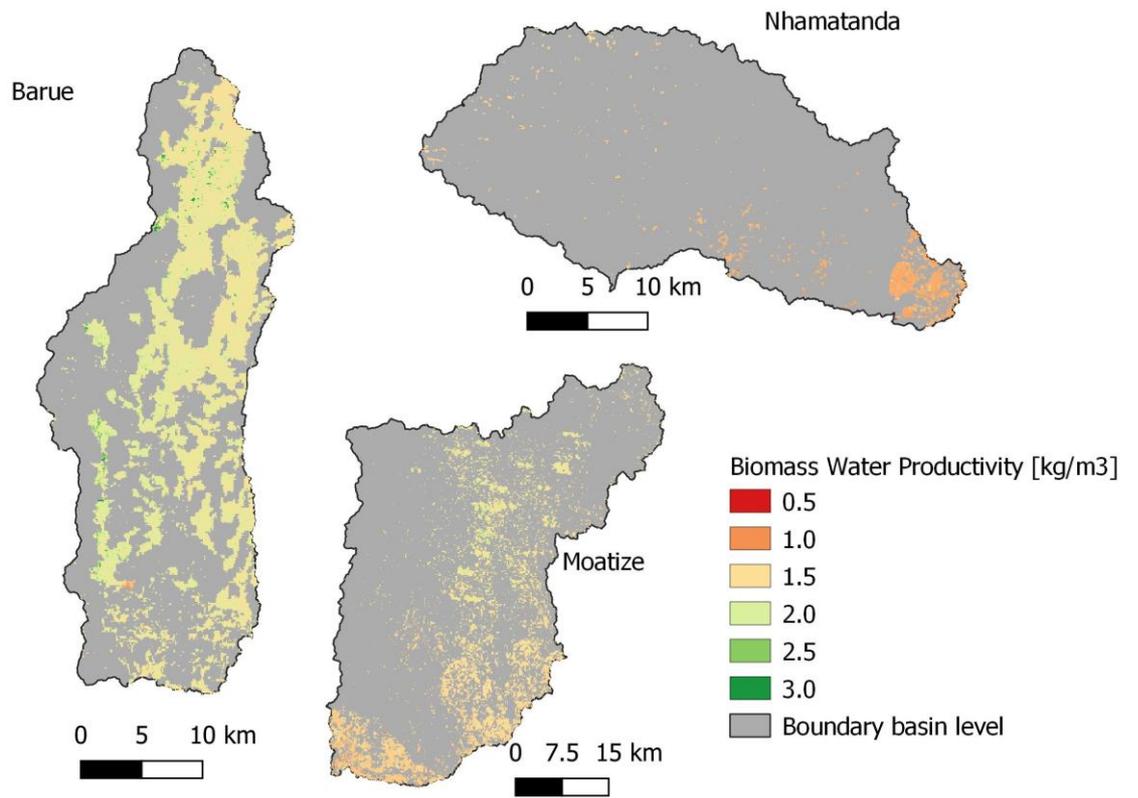


Figura 27. Produtividade sazonal da água de biomassa para pixéis de terra sazonal em Moatize, Bárue e Nhamatanda à escala da bacia usando portal de dados WaPOR

7 Avaliação sazonal da produtividade da água

O relatório de base de avaliação da produtividade da água forneceu a produtividade média da água durante um período de 17 anos (2001 - 2017). Esta é considerada a base da produtividade da água para os locais do projeto, sem quaisquer intervenções colocadas pelas atividades da APSAN-Vale. Durante a época de chuva, o projeto trabalhou com ¹vários PPCs para melhorar a produtividade da água da sua exploração e, posteriormente, também vários EPI's (pequenos agricultores) e comunidades circundantes.

A avaliação da produtividade da água é realizada em dois níveis. Em primeiro lugar, avalia-se a alteração da produtividade da água devido a intervenções específicas no domínio dos PPCs. Este nível é considerado a escala local da alteração da produtividade da água. Em segundo lugar, avalia-se a alteração da produtividade da água das comunidades circundantes. Isto será influenciado pelos epise e pelas comunidades vizinhas que adotam as intervenções. Este nível é considerado o aumento da produtividade global da água da região ou da escala da bacia. Durante esta temporada as atividades focaram-se numa seleção de PPCs e em várias comunidades.

As secções seguintes elaboram sobre a alteração da produtividade da água do PCP em comparação com o relatório de base; e a mudança na produtividade global da água utilizando a base de dados WaPOR para avaliar uma área maior. Ambas as avaliações recorrem à normalização da produtividade da água para as condições meteorológicas sazonais, conforme explicado na secção 2.6 deste documento. Assim, as alterações na produtividade da água ligadas ao clima sazonal são reduzidas na avaliação. A avaliação da produtividade da água ao nível do PCP é apresentada seguida pela avaliação global da produtividade da água ao nível da bacia.

7.1 Avaliação da produtividade da água ao nível do campo

O capítulo 4 deste relatório apresenta os resultados dos valores de produtividade da água à escala de campo. Uma visão geral desta análise é fornecida no Quadro 12 indicando para cada distrito os valores de base, e a gama de valores de produtividade da água durante esta temporada (2020-2021) utilizando os resultados dos PPCs selecionados, tal como apresentados no Capítulo 4. Os valores representam os valores normalizados de produtividade da água do milho. O aumento global é calculado comparando a média (média) da produtividade normalizada da água, com o percentil de 75th da linha² de base. O pressuposto é que os PPCs estão acima da média na avaliação de base, que também é explicada na secção 4.3. A melhoria média global da produtividade da água alcançada à escala de campo dos PPCs é de 68%. O maior aumento foi observado em Moatize e o mais baixo em Bárúè. No entanto, globalmente, as melhorias da produtividade da água indicam uma boa realização dos objetivos fixados no quadro de registos, tal como apresentado na secção 1.2.2 deste documento.

¹ Van Opstal, J.D., A. Kaune. 2020. Relatório Técnico da Produtividade da Água - Avaliação de base para o projeto APSAN Vale. Relatório FutureWater 195.

² Esta é uma medida utilizada em estatísticas que indicam o valor abaixo do qual uma determinada percentagem de observações num grupo de observações cai. Neste caso, 25% das observações são encontradas acima das 75th percentil.

Tabela 12. Produtividade normalizada da água do milho (em kg/m³) para a estação de chuva 2020 - 2021 em comparação com a linha de base

| | Báruè | Moatize | Nhamatanda | Média |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| Linha 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 Rainfed 2020-2021 | | | | |
| Alcance | 0.57 – 0.75 | 0.57 – 0.78 | 0.35 – 0.61 | |
| Média (média) | 0.69 | 0.66 | 0.52 | |
| Varição relativa (%) | +68% | +78% | +57% | +68% |

7.2 Avaliação da produtividade da água à escala da bacia

A avaliação da produtividade da água à escala da bacia foi efetuada utilizando os resultados do WaPOR do capítulo 6. Estes indicam os valores de produtividade da água para os pixéis das terras agrícolas nas bacias selecionadas do projeto para a estação de água chuvosa. O quadro 13 apresenta os valores da produtividade da água a biomassa após a normalização para as condições meteorológicas de 2020-2021 e comparando com os valores de base. Verificou-se um aumento médio da produtividade da água a biomassa de 16%, que variava entre -5% e +39%. 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 e refletirá nos próximos relatórios de "Impacto de Intervenções".

Tabela 13 Produtividade da água a biomassa (kg/m³) para a estação de chuva 20-2021 à escala da bacia em comparação com a linha de base

| | Báruè | Moatize | Nhamatanda | Média |
|--|-------|---------|------------|-------|
| Temporada de Rainfed 2020-2021 | 1.78 | 1.57 | 1.24 | |
| Temporada de Rainfed 2020-2021 (Normalizado) | 2.23 | 1.49 | 1.34 | |
| Linha de base | 1.61 | 1.57 | 1.18 | |
| Varição relativa (%) | +39% | -5% | +14% | +16% |

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, na sub-bacia como 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 deteção remota de acesso aberto da WaPOR.

A produtividade da água em escala de campo apresentou resultados para 27 agricultores que foram monitorizados ao longo da época de secas de chuva como parte do projeto APSAN-Vale. Verificou-se que a produtividade da água do milho variava entre 0.38 a 0.66 kg/m³ em Nhamatanda, 0.55 a 0.75 kg/m³ em Moatize, e 0.71 a 0.94 kg/m³ em Bárue. Após a normalização das condições climáticas, verificou-se que o aumento da produtividade da água era de +68% em Bárue, +78% em Moatize e +57% em Nhamatanda, o que resultou num aumento médio de 62% em comparação com os valores de base.

Os resultados da produtividade da água de campo de 27 agricultores, dão uma boa indicação das tendências da elevada e baixa produtividade da água. Estes podem ser combinados com os dados de monitorização dos parceiros APSAN-Vale que indicam a adoção de práticas destes agricultores e as formações que foram frequentadas. 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 numa escala de sub-bacia, que é representativa para a comunidade de agricultores que adotam práticas que estão a ser demonstradas e promovidas pelos PPCs selecionados. Uma área de 30ha em torno de cada PPC selecionado é determinada como representativa para a área da sub-bacia. Isto pode ser ajustado nas estações seguintes, guiado por mais informações de campo sobre a disseminação de práticas. 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 na Catandica II. Em Moatize a maior produtividade da água é encontrada em Moatize III. Os valores mais baixos para a produtividade da água encontram-se em Nhamatanda. Verificou-se que a produtividade da água a biomassa variava entre 1,76 e 1,87 kg/m³ em Bárue, 0,96 a 1,38 kg/m³ em Moatize, e 1,08 a 1,1 kg/m³ em Nhamatanda.

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 +39%, -5, e +14% para bárue, Moatize e Nhamatanda, respectivamente. O aumento médio da produtividade da água a biomassa foi de +16% para todos os distritos em conjunto.

A análise da produtividade da água em escala de campo indica uma melhoria da produtividade da água e alcança o objetivo definido para 2021 de 25%, conforme indicado no logframe do projeto. A continuação desta análise com a adoção de práticas ajudará a determinar intervenções eficazes para melhorar a produtividade da água e facilitar o aumento da produtividade da água.

Anexo 1 – Visão geral dos dados de entrada

| Year | Irrigation / rainfed | Region | ID plot | Lat | Lon | Soil | | Crop | | | | | Field mgt | | | | Irrigation (yes/no) |
|-----------|----------------------|---------|----------------|---------|--------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|-----------------------------|---|-----------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| | | | | | | Soil texture (sandyloam, etc) | Stoniness (low, moderate, high) | Crop type (EN) | Crop type (PT) | Planting date | Growing length | Planting density [pints/m2] | Fertilizer use (low, moderate, optimal) | Mulching yes/no | Weed mgt (low, moderate, high) | Runoff mgt (yes/no) | |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-ZO-AL-01-01 | -15.600 | 34.441 | sandy loam | low | Maize | Milho | 30/Nov | 141 | 3.7 | Optimal | no | High | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-ZO-AC-01-01 | -15.703 | 34.348 | sandy loam | low | Maize | Milho | 01/Dec | 135 | 3.7 | Moderate | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-SA-ZM-01-01 | -15.703 | 34.349 | sandy loam | low | Maize | Milho | 04/Dec | 132 | 2.8 | Moderate | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-SA-MC-01-01 | -15.775 | 34.111 | sandy loam | low | Maize | Milho | 03/Dec | 133 | 2.8 | Moderate | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-SA-L-01-01 | -15.771 | 34.110 | sandy loam | low | Maize | Milho | 01/Dec | 135 | 2.8 | Moderate | yes | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-SA-L-01-02 | -15.771 | 34.110 | sandy loam | low | Maize | Milho | 10/Dec | 126 | 2.8 | Moderate | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-SA-L-01-03 | -15.771 | 34.110 | sandy loam | low | Maize | Milho | 04/Dec | 132 | 2.8 | Moderate | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-MA-AC-01-01 | -15.874 | 34.078 | sandy loam | Moderate | Maize | Milho | 27/Nov | 125 | 2.8 | Low | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-MA-JC-01-01 | -15.877 | 34.032 | sandy loam | Moderate | Maize | Milho | 15/Nov | 120 | 2.8 | Low | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-MA-JC-01-02 | -15.877 | 34.032 | sandy loam | Moderate | Maize | Milho | 15/Nov | 120 | 2.8 | Low | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-MA-JC-01-03 | -15.877 | 34.032 | sandy loam | Moderate | Maize | Milho | 31/Dec | 120 | 2.8 | Low | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-MA-JC-01-04 | -15.877 | 34.032 | sandy loam | Moderate | Maize | Milho | 15/Nov | 120 | 2.8 | Low | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-MA-JC-01-05 | -15.877 | 34.032 | sandy loam | Moderate | Maize | Milho | 29/Nov | 123 | 2.8 | Low | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-MA-JC-01-06 | -15.877 | 34.032 | sandy loam | Moderate | Maize | Milho | 01/Dec | 121 | 2.8 | Low | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-MA-RC-01-01 | -15.939 | 34.059 | sandy loam | low | Maize | Milho | 03/Dec | 133 | 2.8 | moderate | no | moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-CA-EP-01-01 | -16.058 | 33.978 | sandy loam | Moderate | Maize | Milho | 06/Dec | 130 | 2.8 | low | no | low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Moatize | MO-AA-CA-01-01 | -16.074 | 33.955 | sandy loam | Moderate | Maize | Milho | 07/Dec | 129 | 2.8 | moderate | no | moderate | no | no |

| Year | Irrigation / rainfed | Region | ID plot | Lat | Lon | Soil | | Crop | | | | | Field mgt | | | | Irrigation (yes/no) |
|-----------|----------------------|------------|----------------|---------|--------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|---|-----------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| | | | | | | Soil texture (sandyloam, etc) | Stoniness (low, moderate, high) | Crop type (EN) | Crop type (PT) | Planting date | Growing length [days] | Planting density [pints/m2] | Fertilizer use (low, moderate, optimal) | Mulching yes/no | Weed mgt (low, moderate, high) | Runoff mgt (yes/no) | |
| 2020-2021 | Rainfed | Nhamatanda | AP_NH_AM_01_01 | -19.341 | 34.370 | sandy clay | low | Maize | Milho | 01/Nov | 139 | 2.5 | Optimal | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Nhamatanda | AP_NH_LF_01_02 | -19.344 | 34.332 | sandy clay | low | Maize | Milho | 20/Nov | 110 | 2.5 | Optimal | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Nhamatanda | AP_NH_FB_01_01 | -19.343 | 34.207 | sandy clay | low | Maize | Milho | 01/Nov | 120 | 2.5 | Optimal | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Nhamatanda | AP_NH_FM_01_01 | -19.350 | 34.346 | sandy clay | low | Maize | Milho | 24/Nov | 126 | 2.5 | Optimal | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Nhamatanda | AP_NH_JS_01_01 | -19.341 | 34.202 | sandy clay | moderate | Maize | Milho | 24/Nov | 128 | 2.5 | Optimal | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Nhamatanda | AP_NH_LL_01_01 | -19.337 | 34.357 | sandy clay | low | Maize | Milho | 20/Dec | 116 | 2.5 | Optimal | no | high | no | no |

| Year | Irrigation / rainfed | Region | ID plot | Lat | Lon | Soil | | Crop | | | | | Field mgt | | | | Irrigation |
|-----------|----------------------|--------|-----------------|---------|--------|--------------|---------------------------------|----------------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------------|---|-----------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| | | | | | | Soil texture | Stoniness (low, moderate, high) | Crop type (EN) | Crop type (PT) | Planting date | Growing length [days] | Planting density [pnts/m2] | Fertilizer use (low, moderate, optimal) | Mulching yes/no | Weed mgt (low, moderate, high) | Runoff mgt (yes/no) | Irrigation (yes/no) |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_ARM-01-01 | -17.860 | 33.203 | sandy clay | low | Maize | Milho | 03/Dec | 143 | 2.5 | Low | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_DDC-01-01 | -18.005 | 33.207 | sandy clay | low | Maize | Milho | 28/Nov | 140 | 2.5 | Optimal | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_FLM-01-01 | -17.837 | 33.139 | sandy clay | low | Maize | Milho | 02/Dec | 127 | 2.5 | Optimal | no | High | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_FLM-01-02 | -17.837 | 33.139 | sandy clay | low | Soya bean | Soja | 08/Dec | 114 | 13.3 | Low | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_LSM-01-01 | -18.123 | 33.189 | sandy clay | low | Maize | Milho | 24/Nov | 142 | 2.5 | Optimal | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_LSM-01-02 | -18.123 | 33.189 | sandy clay | low | Beans | | 20/Jan | 85 | 13.3 | Optimal | no | Moderate | | |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_OJ-01-01 | -17.930 | 33.254 | sandy clay | moderate | Maize | Milho | 07/Dec | 129 | 2.5 | Optimal | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_OJ-01-02 | -17.930 | 33.254 | sandy clay | moderate | Soya bean | Soja | 01/Dec | 66 | 13.3 | Optimal | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_RET-01-01 | -18.158 | 33.187 | sandy clay | low | Maize | Milho | 22/Nov | 139 | 2.5 | Low | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_JLC-01-01 | -17.856 | 33.219 | sandy clay | low | Maize | Milho | 09/Dec | 122 | 2.5 | optimal | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_JLC-01-02 | -17.856 | 33.219 | sandy clay | low | Soya bean | Soja | 01/Jan | 90 | 13.3 | Low | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_VT-01-01 | -17.366 | 33.203 | sandy clay | low | Maize | Milho | 12/Dec | 129 | 2.5 | optimal | no | Low | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_ACI-01-01 | -18.017 | 33.241 | sandy clay | low | Maize | Milho | 05/Jan | 143 | 2.5 | Optimal | no | Moderate | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_ML-01-01 | -18.461 | 33.212 | sandy clay | low | Maize | Milho | 02/Dec | 129 | 2.5 | low | no | high | no | no |
| 2020-2021 | Rainfed | Barue | AP_BA_JDR-01-01 | -18.012 | 33.299 | sandy clay | low | Maize | Milho | 04/Dec | 142 | 2.5 | moderate | no | moderate | no | no |