

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

VALERIA ALBÁN DOMÍNGUEZ

**MODELO CONCEITUAL PARA SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE
ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA FAMILIAR**

VITÓRIA

2024

VALERIA ALBÁN DOMÍNGUEZ

**MODELO CONCEITUAL PARA SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE
ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA FAMILIAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Engenharia Ambiental, na área de concentração Recursos Hídricos.

Orientador: Edmilson Costa Teixeira

Coorientador: Bruno Peterle Vaneli

VITÓRIA

2024

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

D666 Dompiguez, Valeria Albán, 1992-
m MODELO CONCEITUAL PARA SISTEMAS DE
 ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA
 AGRICULTURA FAMILIAR / Valeria Albán Dompiguez. -
 2023.
 136 f. : il.

 Orientador: Edmilson Costa Teixeira.
 Coorientador: Bruno Peterle Vaneli.
 Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade
 Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

 1. armazenamento de água. 2. agricultura familiar. 3.
 Irrigação. 4. Planejamento. I. Teixeira, Edmilson Costa. II.
 Vaneli, Bruno Peterle. III. Universidade Federal do Espírito
 Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

 CDU: 628



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MODELO CONCEITUAL PARA SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA FAMILIAR

Valeria Albán Domínguez

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira
Orientador - PPGEA/CT/UFES

Dr. Bruno Peterle Vaneli
Coorientador - LABGEST/DEA/UFES

Prof. Dr. Diogo Costa Buarque
Examinador Interno – PPGEA/CT/UFES

Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis
Examinador Interno – PPGEA/CT/UFES

Prof. Dr. Michel Castro Moreira
Examinador Externo – UFV

Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros
Examinador Externo - IFCE

ELISA VALENTIM GOULART
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Vitória/ES, 30 de novembro de 2023





74 - BANCA EXAMINADORA Defesa Tese - Valeria Albán Domínguez_F (1)

Data e Hora de Criação: 12/03/2024 às 13:43:24

Documentos que originaram esse envelope:

- 74 - BANCA EXAMINADORA Defesa Tese - Valeria Albán Domínguez_F (1).pdf (Arquivo PDF) - 1 página(s)



Hashs únicas referente à esse envelope de documentos

[SHA256]: d8f077e3d08438aa2ec2ddb97ce144b1ccb729a1da529a45b2ee6e0084367dd0

[SHA512]: 4ad366c9d746f656e10baf1bbaf9a7c3cf44359737d891bb9a785a90d992a77ab8f2b0bf6a704d0c87df28aa51b0601ba7c28091850f18b06803c5f373c1fec9

Lista de assinaturas solicitadas e associadas à esse envelope



ASSINADO - edmilsonteixeira@hotmail.com

Data/Hora: 12/03/2024 - 14:12:41, IP: 200.137.67.20

[SHA256]: 9ad6b7fc91eb21719cf24389ca71457814a8293014ec92bd836f703a69d7ccc9



ASSINADO - brunopvani@gmail.com

Data/Hora: 12/03/2024 - 14:17:59, IP: 200.137.67.20, Geolocalização: [-20.272146, -40.298641]

[SHA256]: 13b4231d2577675cc7fb8cb6d88feea214c091178ade2bd9ddee6000bba06cb6



ASSINADO - diogo.buarque@gmail.com

Data/Hora: 12/03/2024 - 17:17:49, IP: 187.36.173.29

[SHA256]: b392581d9466a61b9243db2c2b2318d19726ce742aeb41c2d386c78031bd7eb0



ASSINADO - jatreis@gmail.com

Data/Hora: 13/03/2024 - 06:11:11, IP: 179.217.35.116

[SHA256]: 6903ea2afc4b689182a9e931319c1fa2f7e26ddef501b19edc0eddce0129772f



ASSINADO - phamedeiros@ifce.edu.br

Data/Hora: 13/03/2024 - 13:22:26, IP: 179.224.189.170

[SHA256]: 200e21483fec07f1e6aa53835487abd498ad3a1d0a131ed2761b3e4a411daa64



ASSINADO - michelcm@ufv.br

Data/Hora: 14/03/2024 - 10:41:01, IP: 200.235.194.162

[SHA256]: 5308a7c3e9d5ed94697ba40f2c4f14e2e07b65c7afa51f8bace6718bf75f5344

Histórico de eventos registrados neste envelope

14/03/2024 10:41:01 - Envelope finalizado por michelcm@ufv.br, IP 200.235.194.162

14/03/2024 10:41:01 - Assinatura realizada por michelcm@ufv.br, IP 200.235.194.162

13/03/2024 13:22:26 - Assinatura realizada por phamedeiros@ifce.edu.br, IP 179.224.189.170

13/03/2024 06:11:11 - Assinatura realizada por jatreis@gmail.com, IP 179.217.35.116

13/03/2024 06:11:09 - Envelope visualizado por jatreis@gmail.com, IP 179.217.35.116

12/03/2024 17:17:49 - Assinatura realizada por diogo.buarque@gmail.com, IP 187.36.173.29

12/03/2024 17:17:44 - Envelope visualizado por diogo.buarque@gmail.com, IP 187.36.173.29

12/03/2024 14:17:59 - Assinatura realizada por brunopvani@gmail.com, IP 200.137.67.20

12/03/2024 14:17:55 - Envelope visualizado por brunopvani@gmail.com, IP 200.137.67.20

12/03/2024 14:12:41 - Assinatura realizada por edmilsonteixeira@hotmail.com, IP 200.137.67.20

12/03/2024 14:12:25 - Envelope visualizado por edmilsonteixeira@hotmail.com, IP 200.137.67.20

12/03/2024 13:51:47 - Envelope registrado na Blockchain por shanna.pavan@ufes.br, IP 131.255.21.195

12/03/2024 13:51:46 - Envelope encaminhado para assinaturas por shanna.pavan@ufes.br, IP 131.255.21.195

12/03/2024 13:43:25 - Envelope criado por shanna.pavan@ufes.br, IP 131.255.21.195

AGRADECIMENTOS

Primeiramente dou graças a Deus, por me conduzir no caminho da ciência e por me dotar de dons e capacidades que me permitiram concluir o Doutorado em Engenharia Ambiental, na linha de gestão de Recursos hídricos. Agradeço também por me conceder a oportunidade de contribuir para a construção de soluções que visam aprimorar o aproveitamento e distribuição dos recursos hídricos.

Expresso minha gratidão à minha família, aos meus pais, Adriana e Gonzalo, aos meus irmãos, Daniela e Juan Sebastian, e a toda minha ancestralidade, por serem minha raiz, meu apoio e meu sustento ao longo do processo de doutorado.

Um agradecimento especial a meu orientador Edmilson, pela confiança depositada em mim e no meu projeto. Agradeço pelos ensinamentos e por me inspirar em assuntos relacionados ao mundo acadêmico e ao gerenciamento de recursos hídricos.

Também expresso minha gratidão ao meu coorientador, colega e amigo Bruno, por se interessar pelo meu projeto, ser paciente e me ajudar na comunicação de minhas ideias e resultados.

Agradeço a amigos, professores e colegas que torceram por mim, me motivaram e me inspiraram. Sem vocês, eu não teria conseguido. São tantas as pessoas envolvidas no meu processo de doutorado (direta ou indiretamente) que tenho certeza de não conseguirei citar a todos.

Meus agradecimentos a Rani, Felipe, Angelica e Barbara (entre outros) que me deram suporte em meus processos de locação e residência, devida a minha condição de doutoranda estrangeira.

Um agradecimento especial aos colegas do LabGest por proporcionarem um ambiente de convívio agradável e de competência profissional. Entre eles destaco a Daniel, Célio, Andresa, Karla, Anna, entre outros.

Agradeço à comunidade latino-americana em Vitória (a Ricardo, Antonela, Thiago, Cassio, Sebas, Migue, Georginio, Mary, Laura, Josseline, entre outros), aos coordenadores do cursinho popular Risoflora (Ju, Guto, Ester, Jimmy, entre outros), a comunidade da PIBG e da rede ABBA (a Tatiana, Marina, Lelé, Andrea, Eliza, Iuri, entre outros), ao movimento dos foculares (a Vanesa, Vidal, Lucinete, entre outros), a rede Latino-americana de terra e água em América Latina (especialmente a Alex), as comunidades de capoeira angola (dos grupos Volta ao mundo e Volta do mundo), a comunidade CSA e em geral a essa rede social, política e religiosa que atua em Vitória por um mundo mais equitativo e justo. Todos vocês tornaram minha experiência de pesquisa mais enriquecedora; sua organização e vocação me inspiram na construção de estratégias diversas, participativas e populares para contribuir com a gestão de recursos hídricos.

Agradeço aos avaliadores da banca Jose Antônio Tota dos Reis, Diego Costa Buarque, Michel Castro Moreira e Pedro Henrique A. Medeiros; pela disponibilidade de revisar meu projeto e pelas contribuições que aprimoraram o resultado. Também agradeço a eles o respeito e assertividade de suas avaliações.

Finalmente agradeço ao governo brasileiro e suas instituições, especialmente à coordenação de aperfeiçoamento de pessoal a nível superior (CAPES), à Universidade Federal de Espírito Santo (UFES), ao Programa de Pós-graduação em engenharia Ambiental (PPGEA) e ao Laboratório de Gestão de recursos hídricos e desenvolvimento sustentável (LabGest), por viabilizar a minha experiência de pós-graduação de forma pública. Agradeço também ao povo brasileiro por seu acolhimento e pela valiosa troca de experiências.

RESUMO

O armazenamento de água para a agricultura familiar torna-se uma ferramenta chave para avançar na segurança hídrica e alimentar em níveis local, regional e global. Para essa modalidade de produção agrícola recomenda-se a localização estratégica e uso descentralizado de pequenas tecnologias de armazenamento em prol de favorecer a distribuição equitativa de seus potenciais benefícios e impactos. No entanto, identificam-se desafios no planejamento de sistemas de armazenamento de água para irrigação na agricultura familiar (SAAIAF), especialmente em relação à definição/avaliação da sua configuração, sendo ela compreendida como o número, tipo, volume e local de implantação de estruturas de armazenamento necessárias para atender as demandas hídricas de irrigação em uma região. Esses desafios estão relacionados à variabilidade e incertezas de fenômenos hidrológicos naturais, que interagem com e são influenciados por complexas dinâmicas sociais de várias naturezas em diferentes escalas espaço-temporais. Além disso, identifica-se a falta de ferramentas metodológicas na literatura que auxiliem a definição/avaliação da configuração de SAAIAF, visando ao planejamento integrado dessas estruturas de armazenamento para uso individual e coletivo na agricultura familiar. Nesse sentido, desenvolveu-se um modelo conceitual que compreende o SAAIAF como um complexo de três componentes, que são: captação (CAP), reservação (RES) e irrigação (IRR). Para isso: 1. foram identificados fatores que influenciam o desempenho, e, portanto, a configuração de SAAIAF, os quais foram organizados nas dimensões natural e humana; 2. foram identificadas na literatura relações entre elementos das componentes de SAAIAF, agrupadas nas categorias captação-irrigação (CAP-IRR), captação-reservação (CAP-RES) e reservação-irrigação (RES-IRR) e compreendidas como indicadores que contribuem para o seu planejamento/avaliação; e 3. foi testado o modelo desenvolvido na bacia hidrográfica do Córrego Sossego (afluente do rio Santa Joana; sendo este afluente do rio Doce na porção espírito-santense) sem informações sobre a configuração de SAAIAF e para diferentes tipos de tecnologias empregadas na agricultura familiar. O modelo conceitual mostrou potencial de ser utilizado para planejar/avaliar SAAIAF considerando especificidades hidro-agroclimáticas da bacia experimental, e simplificações sobre as dimensões da estrutura de

armazenamento e a espacialização das componentes, para diferentes tipos de tecnologias. Os indicadores do modelo proporcionam informações sobre o desempenho de SAAIAF, relacionado a aspectos do balanço hídrico e identificando possíveis déficits e/ou potenciais de atendimento das demandas hídricas do sistema. Reconhece-se a importância de avançar no aperfeiçoamento e integração dos indicadores, bem como de incorporar outros fatores relacionados ao desempenho de SAAIAF, para avançar no planejamento integrado dos sistemas relacionado com a definição/avaliação de sua configuração.

Palavras-chave: armazenamento da água; agricultura familiar; pequenas estruturas de armazenamento; planejamento e avaliação.

ABSTRACT

Water storage for family farming becomes a key tool for the progress of water and food security at local, regional and global levels. For this type of agricultural production, strategic location and decentralized use of small storage technologies are recommended in order to favor the equitable distribution of their potential benefits and impacts. However, challenges are identified in planning water storage systems for small irrigation systems (SAAIAF), especially in relation to the definition/evaluation of their configuration, which is specific to the number, type, volume and location of storage structures that may fulfill water demands in regions. These challenges are related to the variability and uncertainties of natural hydrological phenomena, which interact with and are influenced by complex social dynamics from different natures at distinct spatiotemporal scales. Furthermore, there is a lack of methodological tools in the literature that assist to define/evaluate the SAAIAF configuration, aiming to the integrated planning of these storage structures for individual and collective use in family farming. In this sense, a conceptual model has been developed that explains the SAAIAF as a complex of three components, which are: catchment (CAP), storage (RES) and command (IRR). For this to happen: 1. factors that influence performance and, therefore, the configuration of the SAAIAF have been identified and organized into natural and human dimensions; 2. relations between elements of the SAAIAF components were identified in the literature, grouped into the categories catchment-command (CAP-IRR), catchment-storage (CAP-RES) and storage-command (RES-IRR), and understood them as indicators that contribute to its planning/evaluation; and 3. the developed model was tested in the *Córrego Sossego* basin (affluent of Santa Joana river; this being an affluent of Doce river in Espírito Santo portion in Brazil), for a planning scenario in which there is no information about the SAAIAF configuration and for different types of technologies used in family farming. The conceptual model has shown the potential to be used to plan/evaluate SAAIAF considering hydro-agroclimatic conditions and simplifications about the storage sizing and spatialization of the components, for different types of technologies. The model's indicators provided information of SAAIAF's performance, related to aspects of the water balance, and identifying possible deficits and/or potentials to satisfy its water demands.

The importance of progress on the improvement and integration of indicators is recognized, as well as the incorporation of other factors related to the performance of SAAIAF, to advance the integrated planning of the systems related to the definition/evaluation of their configuration.

Keywords: water storage; Family farming; small reservoir; planning and evaluation.

RESUMEN

El almacenamiento de agua para la agricultura familiar se convierte en una herramienta clave para avanzar en la seguridad hídrica y alimentaria a nivel local, regional y global. Para este tipo de producción agrícola, se recomienda la ubicación estratégica y el uso descentralizado de pequeñas tecnologías de almacenamiento para favorecer la distribución equitativa de sus posibles beneficios e impactos. Sin embargo, se identifican desafíos en la planificación de sistemas de almacenamiento de agua para riego en la agricultura familiar (SAAIAF), especialmente en lo que respecta a la definición/evaluación de su configuración, entendida como el número, tipo, volumen y ubicación de las estructuras de almacenamiento necesarias para atender las demandas de riego en una región. Estos desafíos están relacionados con la variabilidad e incertidumbres relacionadas a fenómenos hidrológicos naturales, que interactúan con y son influenciados por complejas dinámicas sociales de diferentes naturalezas en diferentes escalas espaciotemporales. Además, se identifica déficit de herramientas metodológicas para la definición/evaluación de la configuración de SAAIAF, con el fin de planificar de manera integrada estructuras de almacenamiento para uso individual y colectivo en la agricultura familiar. En este sentido, se ha desarrollado un modelo conceptual que comprende el SAAIAF como un complejo de tres componentes, que son: captación (CAP), reservación (RES) e irrigación (IRR). Para ello: 1. se identificaron factores que influyen en el rendimiento y, por lo tanto, en la configuración de SAAIAF, que se organizaron en las dimensiones natural y humana; 2. se identificaron en la literatura científica relaciones entre elementos de los componentes de SAAIAF, agrupadas en las categorías captación-riego (CAP-IRR), captación-reservación (CAP-RES) y reservación-riego (RES-IRR) y entendidas como indicadores que contribuyen a su planificación/evaluación; y 3. se experimentó el modelo desarrollado en la cuenca denominada como *Córrego Sossego* (afluente del río *Santa Joana*; siendo este afluente del río *Doce* en la región de Espírito Santo en Brasil), sin informaciones sobre la configuración de SAAIAF y para diferentes tipos de tecnologías utilizadas en la agricultura familiar. El modelo conceptual mostró potencial para ser utilizado en la planificación/evaluación de SAAIAF, teniendo en cuenta las especificidades

hidro-agroclimáticas y simplificaciones sobre las dimensiones de las estructuras de almacenamiento y sobre la espacialización de sus componentes para diferentes tipos de tecnologías. Los indicadores del modelo proporcionaron informaciones sobre el rendimiento de SAAIAF, relacionado con aspectos del balance hídrico e identificando posibles déficits y/o potenciales para atender las demandas de riego del sistema. Se reconoce la importancia de avanzar en el mejoramiento y en la integración de los indicadores, así como de incorporar otros factores relacionados con el rendimiento de SAAIAF, para avanzar en la planificación integrada dos sistemas relacionados a la definición/evaluación de su configuración.

Palabras clave: almacenamiento de agua, agricultura familiar, pequeñas estructuras de almacenamiento; planeación y evaluación.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de estruturas de armazenamento para irrigação.....	32
Figura 2. Representação do modelo conceitual para auxiliar a configuração de SAAIAF, mostrando as componentes CAP, RES e IRR, e as categorias definidas como relações entre essas componentes.	43
Figura 3. Localização da bacia hidrográfica do Córrego Sossego e suas sub-regiões hidrográficas	46
Figura 4. Representações das tecnologias de armazenamento locais superficiais utilizadas na aplicação do modelo conceitual: A. Tanque, B. Cisterna, C. Barraginhas, e D. Barragem.....	49
Figura 5. Representação de fatores que podem influenciar no desempenho e, portanto, na definição da configuração, de SAAIAF organizados nas dimensões natural e social e agrupados em categorias.	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Fatores da dimensão natural que influenciam no desempenho e, portanto, na definição da configuração de SAAIAF	56
Quadro 2. Fatores da dimensão humana que influenciam no desempenho, e, portanto, na definição da configuração de SAAIAF	58
Quadro 3. Descrição da relevância e valores de referência dos indicadores da categoria CAP-IRR	66
Quadro 4. Descrição da relevância e valores de referência dos indicadores da categoria CAP-RES	69
Quadro 5. Descrição da relevância e valores de referência dos indicadores da categoria RES-IRR	71
Quadro 6. Operacionalização dos indicadores da categoria CAP-IRR.	74
Quadro 7. Operacionalização dos indicadores da categoria CAP-RES.	77
Quadro 8. Operacionalização dos indicadores da categoria RES-IRR.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização das variáveis da componente CAP RES e IRR para o teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF.	86
Tabela 2. Valores dos Indicadores da categoria CAP-IRR para o teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF.	87
Tabela 3. Valores dos Indicadores da categoria CAP-RES para o teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF.	89
Tabela 4. Valores dos indicadores da categoria RES-IRR para o teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF.	92
Tabela 5. Caracterização das variáveis para cada tecnologia.	93
Tabela 6. Resultados dos indicadores por tecnologia para CAP-IRR.	95
Tabela 7. Resultados dos indicadores por tecnologia para CAP-RES.	97
Tabela 8. Resultados dos indicadores por tecnologia para RES-IRR.	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	OBJETIVOS.....	22
2.1	OBJETIVO GERAL.....	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1	GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA AGRICULTURA	23
3.2	MODELOS CONCEITUAIS PARA CONTRIBUIR NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	25
3.3	AGRICULTURA FAMILIAR, IRRIGAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA.....	27
3.4	TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NA AGRICULTURA FAMILIAR.....	29
3.5	PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO HÍDRICO	35
4	METODOLOGIA.....	39
4.1	IDENTIFICAÇÃO DE FATORES INTERVENIENTES NO DESEMPENHO DE SAAIAF.....	40
4.2	DESENVOLVIMENTO DE MODELO CONCEITUAL PARA DEFINIÇÃO E AVALIAÇÃO DE SAAIAF.....	42
4.3	AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL NA BACIA DO CÓRREGO SOSSEGO.....	44
4.3.1	<i>Informações sobre a bacia experimental do Córrego Sossego.....</i>	45
4.3.2	<i>Teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF.....</i>	46

4.3.3	<i>Teste para diferentes tecnologias.....</i>	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
5.1	IDENTIFICAÇÃO DE FATORES INTERVENIENTES.....	54
5.2	MODELO CONCEITUAL PARA CONTRIBUIR NA DEFINIÇÃO E AVALIAÇÃO DE SAAIAF.....	65
5.2.1	<i>Identificação e análise de indicadores do modelo conceitual.....</i>	66
5.2.1.1	Categoria Captação-Irrigação.....	66
5.2.1.2	Categoria Captação-Reservação	68
5.2.1.3	Categoria Reservação-Irrigação.....	70
5.2.2	<i>Operacionalização dos indicadores do modelo conceitual.....</i>	73
5.2.2.1	Categoria Captação-Irrigação.....	73
5.2.2.2	Categoria Captação-Reservação	76
5.2.2.3	Categoria Reservação-Irrigação.....	79
5.2.3	<i>Discussões gerais</i>	82
5.3	AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL PARA SAAIAF NA BACIA DO CÓRREGO SOSSEGO.....	86
5.3.1	<i>Teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF</i>	86
5.3.1.1	Categoria Captação-Irrigação.....	86
5.3.1.2	Categoria Captação-Reservação.....	89

5.3.1.3	Categoria reservação-irrigação.....	91
5.3.2	<i>Teste para diferentes tecnologias</i>	93
5.3.2.1	Categoria Captação-Irrigação.....	95
5.3.2.2	Categoria Captação-Reservação	97
5.3.2.3	Categoria Reservação-Irrigação.....	100
5.3.3	<i>Discussões gerais</i>	102
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	108
6.1	CONCLUSÕES.....	108
6.1.1	<i>Identificação de fatores do modelo conceitual.....</i>	108
6.1.2	<i>Desenvolvimento do modelo conceitual para contribuir na definição/avaliação de SAAIAF.....</i>	108
6.1.3	<i>Teste do modelo conceitual para contribuir na definição/avaliação de SAAIAF.....</i>	109
6.2	RECOMENDAÇÕES	109
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
	APÊNDICE A - Base de dados e tratamento de informações para caracterização das componentes Captação e Irrigação.....	126

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias para armazenamento de água são identificadas como ferramentas possíveis de se empregar para aumento da disponibilidade hídrica anual para uso da água em pequenos sistemas de irrigação. O armazenamento de água torna-se uma estratégia para avançar na segurança hídrica e alimentar, no alívio da pobreza e na resiliência a mudanças climáticas a nível local e global. Esses benefícios vêm como consequência de armazenar água em períodos de chuva para disponibilizá-la em regiões ou períodos em que a oferta hídrica é inferior aos requerimentos hídricos das culturas; promovendo assim a produção agrícola e, portanto, de alimentos (LINDOSO *et al.*, 2018; RUFIN *et al.*, 2018; SRINIVASAVA *et al.*, 2017; BARRON *et al.*, 2015; FAO; WWC, 2015).

Para tal propósito, destaca-se o rol de pequenos sistemas de irrigação que contribuem com a diversificação de alimento local, assim como com o sustento de famílias de base agrícola familiar que, no contexto latino-americano, se dedicam a atividades agrícolas em pequena escala (LEPORATI *et al.*, 2014). Dessa maneira, a reservação hídrica favorece a produção agrícola em pequenos sistemas de irrigação, contribuindo com metas de segurança hídrica e alimentar a nível local e global (SHADEED; JUDEH; RIKSEN, 2020; LLOYD; DENNISON, 2018; SRINIVASA *et al.*, 2017).

Na agricultura familiar são comumente utilizadas tecnologias de armazenamento de água que captam, direcionam e/ou armazenam o escoamento derivado de bacias naturais ou superfícies impermeáveis para atendimento das demandas hídricas de irrigação. O uso de estruturas de pequeno porte - também chamadas de pequenos reservatórios, pequenas barragens ou estruturas de armazenamento local - ajudam a descentralizar o uso da água reservada, distribuindo de forma mais equitativa os benefícios e impactos do armazenamento e favorecendo a participação dos usuários no seu planejamento e na sua implantação e operação (MACHIWAL; KUMAR; DAYAL, 2018; VAIDYA, 2015; VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008).

A adoção de estruturas locais de armazenamento pode ser utilizada como estratégia para contribuir com meios de subsistência de agricultores e agricultoras familiares, especialmente em regiões áridas e/ou semiáridas

(BRASIL; MEDEIROS, 2019; LINDOSO *et al.*, 2018; ACHEAMPONG *et al.*, 2018; HESSEL *et al.*, 2016; VENOT; DE FRAITURE; ACHEAMPONG, 2012). Sua adoção auxilia na mitigação dos efeitos sazonais das chuvas no plantio, e possuem baixo custo e curto intervalo de tempo de construção. Tais características permitem sua implantação próxima aos pontos de usos, além da facilidade de gerenciamento pela comunidade (VAIDYA, 2015).

No entanto, essas estruturas não costumam ser consideradas em políticas de gestão das águas, sendo frequentemente subutilizadas (BRASIL; MEDEIROS, 2019), e quando utilizadas apresentam baixos desempenho e eficiência, em razão do planejamento improvisado de modo individual e não comunitário (ACHEAMPONG *et al.*, 2018; LASAGE; VERBURG, 2015; PAYEN; FAURÈS; VALLÉE, 2012). Nesse sentido, a adoção de um planejamento regional de estruturas locais que considere as especificidades e complexidades do armazenamento hídrico, permite aumentar seus benefícios e diminuir seus impactos negativos no contexto da agricultura irrigada do tipo familiar.

Para fins desta pesquisa, foi denominado de Sistema de Armazenamento de Água para Irrigação na Agricultura Familiar (SAAIAF) o conjunto de elementos que representa o armazenamento hídrico para atender as demandas hídricas de irrigação de uma realidade característica da agricultura familiar. O SAAIAF pode envolver várias unidades e diferentes tipos de estruturas de armazenamento hídrico. Para fins de planejamento regional, visa-se potencializar os benefícios e reduzir os impactos negativos de SAAIAF, definindo de forma estratégica sua configuração. Sendo que a configuração de um sistema envolve a definição do número, tipo, volume e local de implantação das estruturas de armazenamento que atendem uma região.

Existem metodologias na literatura acadêmica que fornecem insumos sobre como abordar elementos da configuração de SAAIAF, tais como o desenvolvimento de modelos hidrológicos para estudar o comportamento espacial das estruturas de armazenamento na paisagem (VAN METER *et al.*, 2016; BLANC; STROBL, 2013), avaliar os impactos hidrológicos e econômicos da implementação e operação de estruturas de armazenamento (SAMPAIO *et al.*, 2020; BRASIL; MEDEIROS; 2019; HABETS *et al.*, 2014).

Outros autores avançaram em metodologias para a seleção de locais mais apropriados para diferentes tipos de tecnologias, por meio de mapas de *suitability*¹ e análises multicritério (MATOMELA, LI, IKHUMHEN;2020; GRUM *et al.*, 2016). Também foram identificados trabalhos que contribuíram com a identificação e quantificação da influência de diferentes fatores no sistema (OGILVIE *et al.*, 2019; RUFIN *et al.*, 2018; BITTERMAN *et al.*, 2016).

Embora esses modelos e propostas possam abordar alguns aspectos relacionados à configuração de SAAIAF, eles não permitem definir uma configuração apropriada para uma região específica. Nesse sentido, Srivastava (1996) desenvolveu algoritmos de programação linear e multiobjetivo para definição da configuração do que o autor denomina como *integrated tank irrigation system* em bacia hidrográfica. Isso, com base na definição de relações hidrológicas e econômicas; assim como de características relacionadas à geometria da rede de drenagem, as perdas por transporte, a alocação de áreas irrigadas por reservatórios, e à formação dos sistemas em série em relação à rede de drenagem. Srivastava (1996) consegue escolher a melhor configuração entre alternativas propostas em função dos objetivos: maximizar a renda, maximizar a produtividade ou maximizar a retenção do escoamento por unidade de investimento.

A complexidade, as especificidades e a imposição no trabalho de Srivastava (1996), em relação a aspectos da tecnologia e do número máximo unidades, fazem com que a proposta não seja replicável para outras realidades e tecnologias. No geral, a avaliação da capacidade de armazenamento e dimensionamento de esses sistemas por meio de técnicas como a programação e balanços hídricos detalhados são inadequadas para a avaliação e definição da configuração ao nível regional, ou para replicação de experiências bem-sucedidas de um local a outro.

Frente a isso, alguns esforços foram feitos para padronizar a caracterização de sistemas de armazenamento hídrico, facilitando a comparação e, assim, a avaliação de sistemas de armazenamento de diferentes regiões. Por exemplo:

¹ Se emprega o termo em inglês por ser mais preciso. Traduções mais próximas, em português, são aptidão e adequação.

Shinde, Gorantiwar e Smout (2004) identificaram como indicadores, relações entre as áreas de captação, reservação e irrigação em vários distritos da Índia, permitindo a comparação de resultados entre diferentes regiões e sistemas; Piemontese *et al.* (2021) desenvolveram arquétipos² para facilitar a replicação de tecnologias considerando o contexto local, como condições socioeconômicas. Já Eriyagama *et al.* (2021, 2022) estabeleceram indicadores para medir a sustentabilidade de diferentes configurações, com ênfase na composição do, como denominado por eles *scale element* que inclui o número de unidades, local e distribuição de reservatórios na rede de drenagem.

A partir da contribuição de Shinde, Gorantiwar e Smout (2004), observou-se potencial para contribuir com a definição/avaliação da configuração de SAAIAF e na identificação de indicadores que relacionem elementos sobre a captação, reservação e irrigação do sistema. Assim, entende-se que todo SAAIAF possui três componentes conforme a sua função para captar, armazenar e abastecer água a fim de atender as demandas hídricas de irrigação; e que relações entre elementos dessas componentes podem oferecer informação sobre o desempenho de Sistemas de Armazenamento de Água na Agricultura Familiar (SAAIAF).

Nesse contexto os objetivos do trabalho foram definidos, os quais se encontram apresentados no capítulo a seguir.

² As análises de arquétipos investigam padrões de um fenômeno em um nível intermediário de abstração para explicá-lo por meio de modelos baixo condições específicas. Podem ser usados para identificar e descrever processos e mecanismos que explicam a complexidade de um único caso, ou identificar padrões em uma série de casos (OBERLACK *et al.*, 2019)

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver Modelo Conceitual para Sistemas de Armazenamento de Água para Irrigação na Agricultura Familiar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar fatores intervenientes com potencial de influenciar no desempenho e configuração de SAAIAF.
2. Construir um modelo conceitual para SAAIAF que adote como indicadores relações dos elementos componentes do sistema captação, reservação e irrigação.
3. Avaliar a aplicação do modelo conceitual desenvolvido por meio de experimentação, considerando diferentes tecnologias de armazenamento para agricultura familiar no Espírito Santo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA AGRICULTURA

A gestão integrada de recursos hídricos (GIRH) promove o desenvolvimento coordenado da água, da terra e dos recursos relacionados para maximizar o bem-estar ambiental, social e econômico (HASSING,2009). A GIRH deve coordenar o uso da água em e entre diversos setores, para reduzir conflitos e garantir a disponibilidade de água nas diferentes atividades humanas. Dentro desses setores, destaca-se o setor agrícola pelo fato dele, no geral, impactar significativamente a qualidade e a disponibilidade da água e do solo no mundo (USAID, 2015). Nesse contexto, o gerenciamento da água na agricultura deve agenciar o equilíbrio entre a oferta e a demanda hídrica para garantir o desenvolvimento local e regional sustentável.

O crescimento desordenado e o uso inadequado de recursos hídricos podem incrementar o déficit hídrico da bacia hidrográfica, ou seja, comprometer o fornecimento de água para os diferentes usos (RODRIGUES, 2022). Assim, dentro das ações da GIRH na agricultura, incluem-se aquelas implementadas para mitigar o déficit hídrico e o aumento de conflitos pelo uso da água provocado por tal déficit e aumentar a disponibilidade hídrica para irrigação.

Visando incrementar a disponibilidade hídrica para o setor agrícola, devem ser dirigidos investimentos na promoção do uso racional dos recursos hídricos, na implementação de tecnologias de conservação de água e do solo, e na adoção de técnicas de reúso de águas de qualidade inferior na utilizar na agricultura (BARRON *et al.*, 2015). Rodrigues (2022) e Meshesha e Khare (2019) destacam que essas ações devem considerar as especificidades do local em relação às características sociais, ambientais e econômicas; assim como às dinâmicas temporais e espaciais entre diferentes escalas e setores.

A irrigação, amplamente reconhecida como a atividade de maior consumo de água no contexto do setor agrícola, consiste na aplicação controlada e deliberada de água às culturas, desempenhando um papel crítico na mitigação

do déficit hídrico das culturas e no aumento da sua produtividade. Nesse sentido, a gestão da água para irrigação visa evitar o desperdício hídrico e assegurar que as plantas recebam a quantidade precisa de água, no momento certo, para atender às suas necessidades fisiológicas. Para isso, a gestão de água na agricultura deve promover o uso racional e a alocação equitativa da água entre os diferentes usuários agrícolas, assim como estratégias que aumentem a disponibilidade hídrica para irrigação, como o armazenamento (BARRON *et al.*, 2015).

No entanto, problemas em recursos hídricos, como a escassez hídrica para irrigação na agricultura familiar, são, em muito, influenciados por razões humanas comportamentais, de atitude entre os diferentes atores do sistema (LANNA, 1995). Por isso, a GIRH visa, entre outros aspectos, a integração e participação de diferentes setores/usuários envolvidos na gestão dos recursos hídricos e o fortalecimento de sua capacidade adaptativa para responder a diferentes desafios (GUPTA *et al.*, 2010).

Considera-se que GIRH requer uma abordagem integrada considerando não apenas a dimensão técnica, mas também a dimensão social e ambiental. Meshesha e Khare (2019) identificaram que a GIRH pode ser utilizada como base para integrar discussões de grupos multidisciplinares em vários níveis (local, regional, nacional e internacional), relacionadas à conservação, utilização eficiente e gestão dos recursos naturais (água, recursos terrestres e ecossistemas) com base no desenvolvimento sustentável. Sendo assim, são necessários mecanismos que permitam a integração entre vários níveis e setores do gerenciamento de ações relacionadas à conservação dos recursos hídricos, bem como mecanismos que dialoguem entre deliberações da gestão formal (conjunto de ações que perpassam instituições administrativas e governamentais) e da gestão informal (conjunto de normas estabelecidas por usuários e comunidades) da água na agricultura; esses últimos mecanismos inserem-se no que se entende por cogestão de recursos hídricos.

3.2 MODELOS CONCEITUAIS PARA CONTRIBUIR NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Modelos são representações simplificadas dos elementos e processos reais de um sistema. Nesse sentido, um sistema pode ser formado por dois ou mais elementos estruturalmente conectados e interdependentes entre si (PASSOS, 2008). O objetivo de desenvolver modelos é compreender e/ou retratar os elementos e relações de um sistema, assim como avaliar o estado do sistema para certas condições e especificidades. Nesse sentido, modelos são comumente empregados para acompanhar a evolução de um sistema em função de alterações nas condições dos seus elementos e/ou relações para um determinado corte espaço-temporal (TUCCI; MENDES, 2006).

Por isso, o uso de modelos contribui com a gestão integrada de recursos hídricos (GIRH), pois permite e fornecer insumos quantitativos ou qualitativos para a tomada de decisões que influenciam os estados dos corpos hídricos e, portanto, seu uso para atividades econômicas, ecológicas e sociais. Comumente são utilizados modelos hidrológicos para simulação e otimização que utilizam variáveis relacionadas com o balanço hídrico para avaliar o estado e as alterações de um sistema hídrico (TUCCI; MENDES, 2006). Esse tipo de abordagem geralmente requer de séries de informações temporais de variáveis hidrológicas que além de ser específicos para o local, não estão disponíveis para todos os sistemas, o que impede a reprodução dos modelos para outras realidades (ANDRADE; MAIA; LUCIO, 2107).

Enquanto os modelos podem ser uma manifestação mais detalhada de uma teoria em termos das relações funcionais entre variáveis dependentes e independentes para um sistema, os modelos conceituais identificam componentes básicos e relações críticas desses sistemas de forma genérica, auxiliando assim na construção de explicações causa-efeito para uma realidade específica (MCGINNNS; OSTROM, 2014). Por isso, para abordar as complexidades e desafios da GIRH, muitas vezes são empregados modelos conceituais, os quais podem auxiliar na identificação de características e inter-relações relevantes para um dado sistema.

Os modelos conceituais são estruturas analíticas resultantes de desenvolvimentos teóricos descritos por marcos metodológicos. Entre outros aspectos, o modelo conceitual permite descrever o vocabulário básico de explicações esperadas para uma teoria (MCGINNNS; OSTROM, 2014). Existem diferentes abordagens de modelos conceituais que contribuem com as problemáticas dos recursos hídricos, na sequência citam-se algumas dessas:

- Modelos socio-hidrológicos, socio-ecológicos ou modelos naturais-humanos sugerem um enfoque multi e transdisciplinar para tratar de assuntos que envolvem sistemas hídricos/ecológicos para o desenvolvimento de atividades humanas estudando as dinâmicas e a co-evolução entre os elementos desses subsistemas e suas variações na escala espacial e/ou temporal (MASSUEL *et al.*, 2018; SIVAPALAN; SAVENIJE; BLÖSCHL, 2012).
- Modelos de sustentabilidade têm sido definidos pelo grupo de pesquisa LabGest, como estruturas conceituais multicritério de auxílio à avaliação diagnóstica e/ou prognóstica do funcionamento de um dado sistema quanto ao nível de aderência aos preceitos do Desenvolvimento Sustentável.
- Os Modelos socio-técnicos representam o sistema como uma entidade técnica, cuja receptividade a instalação, operação e manutenção dependem tanto das características de um artefato com a dos usuários do mesmo (ARCHIDIACONO, 2019).
- Os Modelos de planejamento ou um sistema de suporte à Decisão (SSD) buscam não somente soluções hidráulicas, hidrológicas ou econômicas, mas engloba também quantificação socioeconômica e ambiental. Estas técnicas utilizam vários modelos de combinados de comportamento e de otimização de diferentes áreas, buscando disciplinar as ações e investimentos (TUCCI; MENDES, 2006).

De modo que os potenciais e diferenças de cada modelo para representar um sistema hídrico, variam segundo os princípios modeladores (como pode ser o desenvolvimento sustentável, a segurança hídrica, entre outros) e a

complexidade que quer ser representada. Segundo Lopes (2011), em “problemas complexos, em que são vários os fatores que interferem e incidem nesses, o modelo, por concentrar-se nos aspectos relevantes, corresponderá a uma simplificação do evento real, e é justamente aí que reside sua força e suas vantagens”. Passos (2008) destaca que o valor de um determinado modelo dependerá de se ele consegue dar diretrizes aos tomadores de decisão sobre fatores críticos e/ou processos-chave do sistema representado.

3.3 AGRICULTURA FAMILIAR, IRRIGAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA

A agricultura familiar é um tipo de atividade agrícola em que a gestão e o trabalho na propriedade são realizados principalmente por membros de uma mesma família. Caracteriza-se pela escala de produção, geralmente menor do que às grandes operações comerciais, e pela participação direta e ativa dos membros da família na produção, gestão e tomada de decisões na propriedade (SALCEDO; DE LA O; GUZMAN, 2014).

A agricultura familiar desempenha um papel crucial na segurança alimentar e no desenvolvimento rural em muitas partes do mundo (SALCEDO; DE LA O; GUZMAN; 2014). No Brasil, por exemplo, a agricultura familiar está presente em mais de 2 milhões de estabelecimentos agropecuários, ocupando cerca de 28 milhões de hectares e envolvendo 8,6 milhões de pessoas, das quais 38% residem no Semiárido (EMBRAPA, 2019). Sendo que a área de propriedades na agricultura familiar pode variar de 2 a 10 há (EMBRAPA, 2019; SALCEDO; DE LA O; GUZMAN, 2014)

De modo geral, a produção agrícola do tipo familiar enfrenta desafios físicos e econômicos no acesso à água, além de questões de má gestão, agravadas pela assistência governamental limitada e de curto prazo (DELGADO; BERGAMASCO, 2017). Em algumas regiões, em especial as áridas e semiáridas, os extensos períodos de seca representam um risco à produção agropecuária familiar, especialmente em áreas onde a atividade depende estritamente das chuvas (EMBRAPA, 2019). A irrigação desempenha um papel fundamental na superação dessas limitações, permitindo que os agricultores controlem o fornecimento de água às suas culturas (DEVINENI *et al.*, 2013).

Estratégias de armazenamento de água durante períodos chuvosos favorecem a irrigação durante períodos de seca, especialmente em regiões com alta variabilidade hidrológica (MELO *et al.*, 2019). O armazenamento de água atua como um amortecedor contra a variabilidade dos regimes de precipitação. Por exemplo, Wisser *et al.* (2010) analisaram um possível aumento de 100% e 30% na produção de cereais na África e na Ásia, respectivamente, ao implementar pequenos reservatórios.

Estruturas de armazenamento de água na agricultura familiar podem aumentar a disponibilidade de água para produção agrícola e dessedentação animal em temporadas de estiagem (ACHEAMPONG *et al.*, 2018), aumentar a recarga de aquíferos (DEORA; NANORE, 2019), e promover o uso de cultivos de alto valor comercial (MALIK *et al.*, 2014). Assim, a implementação de estratégias de armazenamento hídrico pode melhorar as condições das propriedades agrícolas, e, portanto, o bem-estar de pessoas e comunidades rurais (LINDOSO *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o uso de sistemas de armazenamento e de irrigação auxiliam no cumprimento de metas relacionadas à segurança alimentar, ao contribuir com o consumo alimentar local (FAO; WWC, 2015). Isso se dá pelo fato de que a agricultura familiar produz diversos alimentos de consumo básico (como grãos, leguminosas, vegetais e derivados da criação animal) utilizados para consumo doméstico ou para venda em mercados locais.

No entanto, discute-se que muitos agricultores carecem de capacidades econômicas, físicas ou institucionais para implementar sistemas de armazenamento (NIKKELS *et al.*, 2019). Isso pode ser explicado pela economia de escala relacionada a estruturas de armazenamento de pequeno porte, que estão comumente associadas a agricultura familiar, as quais podem ter implicações negativas em sua mecanização/operacionalização (LASAGE; VERBUG, 2015). Ademais, a vulnerabilidade da agricultura familiar a efeitos ambientais, como a deterioração da fertilidade do solo e a variação temporal das precipitações, é maior do que para outros tipos de agricultura (HESSEL *et al.*, 2016).

O Banco Asiático de Desenvolvimento indica que existem três abordagens principais para a adaptação à escassez de água e para o desenvolvimento de resiliência à baixa disponibilidade de água: (a) desenvolver instalações de armazenamento de água, tanto naturais como artificiais, superficiais e subterrâneas, e azuis e verdes; (b) adotar técnicas que ajudem a aumentar a produtividade da água agrícola mediante práticas de poupança de água; e (c) alterar a estrutura das atividades económicas, por exemplo, do cultivo de culturas com elevado consumo de água para o cultivo de culturas que necessitam de menos água.

Portanto, para garantir o sucesso de tecnologias de irrigação e armazenamento hídrico na agricultura familiar, é crucial buscar condições acessíveis às realidades ambientais, sociais e económicas das famílias agricultoras (PIEMONTESE *et al.*, 2020, 2021; NIKKELS *et al.*, 2019). Para isso, alguns autores recomendam o desenvolvimento e a promoção de tecnologias de baixo custo que atendam necessidades específicas de comunidades rurais, além da promoção de programas de capacitação e assistência técnica para ensinar os agricultores a usarem essas tecnologias de maneira eficaz (HESSEL *et al.*, 2019; LINDOSO *et al.*, 2018). Bjourn e Pittock (2017) destacam a importância de coordenar esforços para integrar agricultores de pequena escala na cadeia de valor, informando-os sobre decisões importantes relacionadas aos sistemas de armazenamento para aprimorar a sua governança e aumentar os benefícios associados a tais sistemas.

3.4 TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NA AGRICULTURA FAMILIAR

Tecnologias de armazenamento de água desempenham um papel importante no gerenciamento de águas e solos na agricultura familiar (BARRON *et al.*, 2015). Historicamente, o armazenamento hídrico engloba uma variedade de opções e tecnologias. Sua vertente superficial, como reservatórios, lagoas, tanques e zonas úmidas, tem sido mais amplamente explorada (ERIYAGAMA *et al.*, 2020). No entanto, para aumentar a resiliência de condições de seca, as águas subterrâneas aluviais e as barragens de águas subterrâneas apresentam maior

potencial de armazenamento em regiões com climas áridos e semiáridos (DE TRINCHERIA *et al.*, 2018).

Tecnologias de armazenamento podem cumprir muitas funções; como socioeconômicas (ex. aumento da disponibilidade de água para irrigação, aumento da produtividade agrícola, consumo humano), ecológicas (ex. redução de erosão, aumento de infiltração, redução de inundações) e climáticas (regulação espacial e temporal do volume precipitado em um local), entre outras (DE TRINCHERIA *et al.*, 2018; MALIK *et al.*, 2014). Malik *et al.* (2014) destacam alguns impactos desejados do uso de tecnologias para armazenamento de água no setor agrícola: 1. aumenta a área da terra cultivada; 2. aumenta a intensidade de cultivo; 3. permite ajustar o cronograma das culturas; 4. favorece práticas de conservação do solo e; 5. Aumentam a produtividade das culturas.

São comumente empregadas, para a reservação hídrica em sistemas agrícolas de tipo familiar, estratégias de armazenamento hídrico de pequenas dimensões; conhecidas na literatura como³: *Rainwater harvesting ou RWH, water harvesting ou WH* (SRIVASTAVA, 2001), *macro WH* (ALBÁN, 2018; ZAKARIA *et al.*, 2013), *off season rainwater harvesting irrigation management ou RWHI* (DE TRINCHEIRA, 2018), *water harvesting techniques* (GRUM *et al.*, 2016) *small reservoir* (VENOT; DE FRAITURE; ACHEAMPONG, 2012), *local storage* (VAIDYA, 2015; NIKKELS *et al.*, 2019), *small dams* (HABETS *et al.*, 2014; 2018), *agricultural RWH* (MARTÍNEZ; LÓPEZ; LÓPEZ, 2019), entre outros. Essas são intervenções locais que incluem mecanismos para concentrar, coletar e armazenar água de escoamento, com dimensões que se limitam a capacidades volumétricas de até 1 milhão de m³ (VENOT; DE FRAITURE; ACHEAMPONG, 2012), ou áreas superficiais de inundação de até 50 h (HABETS *et al.*, 2014). A UNEP (2009) define essas estratégias como uma ampla variedade de intervenções para utilizar a precipitação através da recolha e armazenamento, quer no solo, quer em barragens, tanques ou contentores artificiais, que aumentam a disponibilidade hídrica em períodos de seca.

³ Optou-se por inserir os nomes das estruturas em inglês, pois na literatura não há consenso sobre nomenclatura delas e podem ser traduzidos de formas diferentes no português. Essa mesma lógica foi utilizada para as classificações e tipos de tecnologias.

Muitas das soluções descentralizadas ou locais têm se caracterizado por possuir baixas profundidades de sua estrutura. Na literatura existe uma diversidade de indicações para a profundidade de pequenas estruturas de reservação. Por exemplo, Balderama (2014) afirma que as profundidades de pequenas estruturas não devem superar os 4 m, e que o mais comum são as estruturas entre 2 e 3 m de profundidade. Macias e Sanchez (2019) indicam uma profundidade de 2,4 m, Srinivasa *et al.* (2017) de 3 m. Já Ghansah *et al.* (2018) encontraram que a profundidade média entre 254 pequenos reservatórios em uma bacia em Gana é de 1,3 m (GHANSAH *et al.*, 2018).

Em comparação às estruturas de grande porte, essas estruturas mostram maior potencial de distribuir equitativamente os impactos e benefícios decorrentes da sua implementação e operação (ERIYAGAMA *et al.*, 2021; VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008). Por exemplo, demonstrou-se que estruturas de armazenamento de pequeno porte aumentam a disponibilidade hídrica para irrigação, impactando positivamente na produção agrícola e no bem-estar dos agricultores familiares (DE TRINCHEIRA *et al.*, 2018; SRINIVASA *et al.*, 2017; WISSER *et al.*, 2010).

Vaidya (2015) ressalta cinco estratégias de armazenamento local comumente utilizadas, sendo essas: 1. Conservação das zonas úmidas; 2. Captação de água e manejo de bacias hidrográficas, incluindo manutenção da umidade do solo; 3. Recarga de aquíferos subterrâneos; 4. Reservatórios para armazenamento de água; e 5. Captação de água de degelo de geleiras. A viabilidade de cada estratégia dependerá das condições socioeconômicas e ambientais do local.

As tecnologias de armazenamento hídrico podem ser classificadas de diversas formas. Por exemplo, Sekar e Randhir (2007) classificam as tecnologias como aquelas que desviam a água do rio para armazenamento fora do rio (*tanks* e *ponds*) e aquelas que armazenam a água ao longo do curso dos rios (*dams*). Já Mcginns e Ostrom (2014) as classificam em *ex-situ*, como aquelas onde a captação e o local são diferentes e se requer estruturas de armazenamento; *in-situ*, aquelas em que o local de captação e aplicação é o mesmo solo (conhecidas como medidas de conservação de água), e *cross slope* tecnologias de armazenamento baseadas na declividade do terreno. Grum *et al.* (2016) classificam as técnicas de armazenamento em técnicas *in-situ*, sistemas de

microcaptação e sistemas de macrocaptação. Já Martínez, López e López (2019) classificam as tecnologias de armazenamento em macrobacias, microbacias, aquíferos, tecnologias *in-situ* e combinações delas. Ngigi. (2003) e De Trinciera *et al.* (2018), concordam na classificação em *in-situ* e *ex-situ*, e descrevem que as estruturas *ex-situ* de armazenamento se caracterizam por possuir uma componente de captação, de reservação e de aplicação, como apresentado na Figura 1.

Figura 1. Elementos de estruturas de armazenamento para irrigação.



Adaptado de Ngigi (2003)

No Brasil, não foram identificados trabalhos que contextualizem e, portanto, classifiquem estruturas de armazenamento descentralizadas. Porém, algumas classificações para estruturas de armazenamento resultam interessantes de serem destacadas. Por exemplo, Araújo e Bronstert (2015) classificam os reservatórios segundo sua localização em relação à rede de drenagem, como de rios e difusos; e Campos *et al.* (2016) segundo a sua geometria em cônicos, ligeiramente cônicos e convexos.

Na agricultura familiar é comum implementar estruturas de armazenamento em nível de propriedade (para uso individual), mas existe, também, a implementação dessas estruturas em comunidade (para uso coletivo de dois ou mais usuários). A implementação de uma ou outra abordagem pode trazer benefícios, ou

impactos que merecem ser estudados. Por um lado, a implementação de estruturas de armazenamento individuais facilita a participação do usuário nas etapas de planejamento, instalação, operação e manutenção das estruturas. Porém, O desempenho dessas estruturas depende da capacidade financeira e técnica de cada proprietário, e pode gerar conflitos de interesse em escala regional (SRINIVASA *et al.*, 2017; HABETS *et al.*, 2014; MALIK *et al.*, 2014; VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008).

Existe uma grande variedade de tecnologias que podem ser denominadas de formas diferentes em função da região. Por exemplo, Adham *et al.* (2016a) identificaram tecnologias como *Ponds* e *pands*; *Check dams terracing*; *Percolation tanks* e *Nala bunds* como as mais eficientes em regiões áridas e semiáridas. Já De Trincheria *et al.* (2018) identificaram *on-farm ponds* (com a captação no teto ou nas estradas), recargas de aquíferos por microcaptação, pequenas barragens de terra, e barragens subterrâneas como as tecnologias comumente empregadas na África subsaariana. Entretanto, Hessel *et al.* (2016) identificaram e analisaram diferentes tecnologias de armazenamento para 4 países de África Subsaariana: Burkina (ex. *Zai, ados, half moon, bund*), Etiópia (ex. *eyebrow basins, deep trenches,*), Zâmbia (ex. *quarries*) e Tunísia (*Jessour, tabia*). Já Grum *et al.* (2016) menciona as tecnologias *household ponds, percolation ponds, check dams, bench terraces, micro-dams, cisterns, semi-circular bunds, e eye brow*. No entanto, no Brasil, Lindoso *et al.* (2018) identificaram os açudes (*dams*) e barreiros (*on-farm ponds*) como tecnologias relacionadas a RWH.

As estruturas de armazenamento superficiais de uso individual, comumente chamadas como *on-farm ponds* ou *tanks*, são normalmente de pequenas dimensões, escavadas dentro das propriedades agrícolas e são gerenciadas e operadas pelos próprios agricultores (ACHEAMPONG *et al.*, 2018; SRINIVASA *et al.*, 2017). Essas estruturas têm se mostrado como uma fonte hídrica sustentável para irrigação suplementar, em comparação com fontes subterrâneas, como poços artesianos (VICO; TAMBURINO; ROBERT, 2020). Porém, são identificadas: limitações para planejamento dessas estruturas em escala regional (SRINIVASA *et al.*, 2017), assim como resistência dos agricultores à sua adoção, pois demanda investimentos de tempo e recursos

financeiros e para algumas tecnologias, sua implementação implica redução da área produtiva (VICO; TAMBURINO; ROBERT, 2020).

Entretanto, alguns autores identificam que reservatórios coletivos trazem maiores benefícios técnicos, econômicos e sociais ao sistema em comparação ao planejamento individual em propriedade (LASAGE; VERBURG, 2015; SCOTT, CHRISTOPHER; SILVA, 2001; VENOT; DE FRAITURE; ACHEAMPONG, 2012). Porém, o uso coletivo de armazenamento hídrico demanda de uma estrutura institucional adequada que viabilize seu gerenciamento; assim como da compreensão das diferentes dinâmicas sociais-institucionais a nível espacial que favorecem ou não sua localização (NIKKELS *et al.*, 2019).

Existem outros tipos de tecnologias que podem ser interessantes para o uso coletivo e integrado de estruturas de armazenamento em escala regional. Destaca-se, por exemplo, a implementação de reservatórios que captam a água escoada de áreas de captação naturais em maior magnitude que as tecnologias individuais (ZAKARIA *et al.*, 2013). Também são reconhecidos sistemas de pequenos reservatórios em cascata, caracterizados por estruturas de armazenamento conectadas entre si ao longo da rede de drenagem da bacia, onde estruturas a montante armazenam o escoamento que provém da paisagem circundante e transferem-lhe para reservatórios maiores a jusante (VAN METER *et al.*, 2016; SHINDE, 2006; SRIVASTAVA, 1996); sendo que o escoamento captado e armazenado nos reservatórios a montante é utilizado e reutilizado em descargas para os reservatórios a jusante.

Contudo, há desafios no planejamento, construção, implementação e operação dessas estruturas de armazenamento local. Entre esses, destacam-se limitações de desempenhos hidrológicos devido a perdas por evaporação e infiltração por suas relações volumem-superfície baixas, bem como dificuldades em atender demandas hídricas durante períodos prolongados de seca e a redução da disponibilidade hídrica a jusante das estruturas (ERIYAGAMA *et al.*, 2021; ARAÚJO; BRONSTERT, 2015; VENOT; DE FRAITURE; ACHEAMPONG, 2012; VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008). Quando se empregam várias dessas tecnologias em uma região, podem causar impactos cumulativos relacionados à

alteração do fluxo superficial e subsuperficial em nível regional (HABETS *et al.*, 2014; 2018, BLANC; STROBL, 2013, VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008). O impacto dessas estruturas também influencia o desempenho das grandes estruturas de armazenamento (e vice-versa) em função de sua localização em relação às áreas de cultivo, a rede de drenagem e a outras estruturas (BLANC; STROBL, 2013; MALVEIRA; ARAÚJO; GUNTER, 2012).

3.5 PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO HÍDRICO

O planejamento de sistemas de armazenamento hídrico envolve uma série de considerações, incluindo a localização das componentes de captação, armazenamento e irrigação, a capacidade e o tipo das estruturas, o regime climático e fatores de tipo econômico, sociocultural e político institucional (MARTÍNEZ; LÓPEZ; LÓPEZ, 2019; HESSEL *et al.*, 2016; BITTERMAN *et al.*, 2016; BLANC; STROBL., 2013). Existem diretrizes que abordam o planejamento, construção e operação de estruturas de armazenamento de água para uso individual em propriedades agrícolas (HAI, 1998; NISSEN-PETERSEN, 2006; VAN-WAMBEKE; PRIETO-CELI; VIEYRA, 2013). Esses roteiros ajudam a definir critérios técnicos como: materiais de construção, dimensões e localização das estruturas de armazenamento para uma estrutura de armazenamento individual. Geralmente, essas diretrizes consideram padrões de chuva, condições agroclimáticas, o destino e o volume da água armazenada e o investimento inicial necessário para a implementação das estruturas de armazenamento.

Além dessas diretrizes, o desenvolvimento de modelos matemáticos e computacionais podem ser empregados como ferramentas para planejamento de sistemas de armazenamento de água (BRASIL; MEDEIROS, 2019; VAN METER *et al.*, 2016; SRIVASTAVA, 1996, 2001). Esses modelos se baseiam no balanço hídrico e permitem otimizar variáveis de decisão relacionadas a aspectos técnicos dos sistemas de armazenamento. Muitas vezes a aplicação desses modelos se limitam à avaliação individual das estruturas de armazenamentos para contextos específicos.

Para planejamento em escala local e regional, como em escala de microbacia e bacia hidrográfica, respectivamente, porque existem vários pontos de demandas

e vários fatores que influenciam a captação de águas para armazenamento. Nesse contexto, o desafio consiste em estabelecer uma configuração de armazenamento mais apropriada para o sistema como um todo. Essa configuração se refere ao tipo, número, capacidade e localização de estruturas de armazenamento que permitem garantir a disponibilidade hídrica para o uso das atividades desenvolvidas na região.

Algumas decisões para definir a configuração de sistemas de armazenamento perpassam por responder se para uma região é melhor um reservatório de grandes dimensões, ou vários reservatórios de pequenas dimensões. Em outras palavras, é importante definir se é melhor (e como?) utilizar uma abordagem concentrada, uma abordagem distribuída, ou uma abordagem intermediária de armazenamento (ERİYAGAMA *et al.*, 2021, 2022; HABETS *et al.*, 2014, 2018, VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008). Nikkels *et al.* (2019). entenderam que as implicações de usar uma abordagem ou outra não é linear, e que devem ser mais bem estudados os efeitos cumulativos da implementação de vários tipos e unidades de estruturas em uma região, para poder oferecer diretrizes sobre a viabilidade desses sistemas. Nesse sentido, Van Meter *et al.* (2016) avaliaram os efeitos da dinâmica dos fluxos de estruturas de armazenamento (*tank*) no seu desempenho e no balanço hídrico da bacia hidrográfica. Esses autores demonstraram que a dinâmica dos fluxos varia consideravelmente nas escalas de *tank* e bacia hidrográfica.

A identificação de sítios potenciais para tecnologias de armazenamento tem sido muito comum para abordar o planejamento de estruturas de armazenamento (SHADEED; JUDEH; RIKSEN, 2020; RANA; MARUTHI; SURYANARAYANA, 2020; SAYL; ADHAM, 2020; MATOMELA; LI; IKHUMHEN, 2020; ADHAM *et al.*, 2016; GRUM *et al.*, 2016b). A maioria integra análises multicritério e sistemas de informação geográfica para obter um mapa de *suitability*, o qual indica as regiões mais apropriadas para a implementação de uma estrutura de armazenamento. Sendo comuns os usos de critérios físicos (declividade, tipo do solo, precipitação), socioeconômicos (proximidades a centros urbanos, densidade populacional) e considerações técnicas. Destaca-se o trabalho de Ziadat (2012) que aplicou uma abordagem participativa para conseguir o mapeamento, e inclui a tenência de terra como critério para avaliar a *suitability*.

Alguns pesquisadores estudaram o efeito cumulativo de estruturas de reservação em escala regional, demonstrando a importância de considerar a densidade e localização dessas estruturas para o planejamento integrado de armazenamento de água em escala de bacia hidrográfica. Habets *et al.*, (2014), Eriyagama *et al.* (2021, 2022) e Van Meter *et al.* (2016) desenvolveram modelos que auxiliam na quantificação de impactos para abordagens de diferentes distribuições de armazenamento (mais ou menos distribuído), enquanto Malveira, Araújo e Gunter (2012) e Habets *et al.* (2018) estudaram o impacto da densidade de reservatórios ou do volume de reservação no desempenho do sistema, e como essas densidades podem estar relacionados a climas e regimes de precipitação.

Destacam-se alguns avanços e abordagens que podem contribuir com a definição da configuração de sistemas de armazenamento:

- Srivastava (1996) e Shinde, Smout e Gorantiwar (2004) desenvolveram algoritmos não lineares para a simulação e otimização de estruturas de armazenamento, que permitem avaliar a configuração mais apropriada para configurações específicas. Para isso, foi necessário assumir uma série de restrições sobre a geometria da bacia, o número e a localização das estruturas em relação à área de irrigação e à rede de drenagem da bacia.
- Também têm sido desenvolvidos projetos inter e transdisciplinares para contribuir com o planejamento de estruturas de armazenamento por diversas organizações acadêmicas e parcerias internacionais. O *Small Reservoirs Project* foi um projeto do *Challenge Program for Water and Food* do Grupo de Consultivo para Pesquisa Agrícola Internacional (CGIR), liderado pela agência internacional de água (IWMI), no qual foram desenvolvido um kit de 30 ferramentas metodológicas para auxiliar no planejamento, dimensionamento e construção de pequenos reservatórios (VENOT; DE FRAITURE; ACHEAMPONG, 2012). O projeto WAHARA (*Water Harvesting for Rainfed Africa*), financiado pela união europeia, desenvolveu ferramentas para expandir a aplicação de tecnologias de armazenamento local no continente africano, dando ênfase às seguintes

atividades: (i) dimensionamento participativo da tecnologia, (ii) impacto sustentável, (iii) integração e adaptabilidade e (iv) aprendizagem e ação (HESSEL *et al.*, 2016).

- Adham *et al.* (2016b) e Grum *et al.* (2016) utilizaram metodologias integradas de modelagem hidrológica, sistemas de informação geográfica e técnicas de análises multicritério para identificar locais e tecnologias apropriados para SAAIAF em bacia hidrográfica.
- Albán (2018) propôs uma metodologia que permite determinar o potencial de armazenamento para irrigação na agricultura familiar de uma região hidrográfica, utilizando um modelo hidro-agro-meteorológico que contemplou diferentes tipos de culturas e o calendário de plantio. Sua aplicação na bacia do Córrego Sossego mostrou o potencial de armazenamento em sub-região hidrográfica, subsidiando informação para selecionar uma configuração de SAAIAF.
- Piemontese *et al.* (2020) desenvolveram arquétipos para facilitar a replicação de tecnologias de armazenamento local em função das semelhanças socioecológicas de diferentes regiões do mundo. Esses arquétipos permitem prever impactos de um tipo específico de tecnologias de armazenamento local para um dado local.
- Com o objetivo de comparar resultados entre sistemas de armazenamento local, alguns autores têm empregado indicadores. Shinde, Gorantiwar e Smout (2004) estudaram as relações entre as áreas das componentes captação, reservação e irrigação em sistemas de armazenamento da Índia. Devineni *et al.* (2013) desenvolveram um índice de estresse hídrico que aplicaram em vários estados da Índia para dar indicações do tipo de reservação mais apropriada para o local. Eriyagama *et al.* (2020) identificaram e compilaram indicadores da literatura relacionados aos elementos de escala de armazenamento, sendo eles: capacidade, grau de distribuição, localização e número de estruturas de armazenamento.

4 METODOLOGIA

Entende-se o sistema de armazenamento de água para irrigação na agricultura familiar (SAAIAF) como um sistema sócio-hidrológico, com uma (ou mais) estrutura(s) de armazenamento hídrico associada(s) a um (ou mais) sistemas de irrigação próprios da agricultura familiar. O modelo conceitual proposto considera o SAAIAF como um complexo das componentes Captação (CAP), Reservação (RES) e Irrigação (IRR), como indicado por Ngigi (2003) e De Trinchera (2017).

Para isso foi necessário: 1. identificar os fatores que podem influenciar o desempenho e, portanto, a definição/avaliação da configuração de SAAIAF, considerando que o sistema representado se comporta como um sistema socio-hidrológico; 2. Desenvolver um modelo conceitual que utilize relações entre elementos das componentes CAP, RES, IRR, como indicadores para oferecer informações sobre o desempenho do sistema; e 3. Testar o modelo para uma realidade que represente características da agricultura familiar no Espírito Santo para diferentes tipos de tecnologias de armazenamento.

Cabe destacar que a estratégia proposta visa contribuir com o planejamento de sistemas de armazenamento de água para fins de irrigação em diferentes escalas espaciais. Por isso, cabe destacar que o SAAIAF pode ser compreendido como 1. uma estrutura de armazenamento associada a uma área de captação e a uma área de irrigação, ou 2. como um conjunto de unidades de armazenamento (cada uma associada a uma componente de captação e irrigação) que operam para o atendimento das demandas hídricas de uma área de planejamento.

Adicional a isso, ressalta-se que a construção do modelo socio-hidrológico, que organiza e compila fatores intervenientes de SAAIAF, e do modelo conceitual que visa contribuir com a configuração de SAAIAF, foi realizada por meio de revisão de literatura, utilizando-se das estratégias explicadas no item 4.1 e 4.2, respectivamente. Ambas as construções partiram do trabalho de Albán (2018), quem desenvolveu um procedimento metodológico para determinar a capacidade de armazenamento hídrico para irrigação na agricultura familiar em bacia hidrográfica. A revisão realizada teve como finalidade dar continuidade à pesquisa de Albán (2018).

4.1 IDENTIFICAÇÃO DE FATORES INTERVENIENTES NO DESEMPENHO DE SAAIAF

Compreendem-se os SAAIAF como sistemas socio-hidrológicos, moldados por dinâmicas espaciais e temporais acopladas às interações entre o homem e a água. No geral, o SAAIAF representa um mecanismo que favorece o acesso de água adicional para irrigação, provocando assim mudanças (desejadas) nas operações agrícolas, e em consequência, na vida do agricultor e de sua família. Isso muitas vezes em função de custos e impactos negativos sobre relações entre os atores e os recursos da região.

Nesse sentido, nesta tese, entendeu-se e adotou-se como bom desempenho de SAAIAF quando se promove o aumento dos seus benefícios (disponibilidade hídrica para irrigação, produtividade das culturas, redução de conflitos pelo uso da água, aumento da diversidade e renda agrícola familiar, e a redução de custos nas fases de implementação e operação desses sistemas), a redução dos impactos negativos (redução da vazão dos rios, perdas por evaporação, aumento de conflitos de terra e água) e o redução dos custos (investimento, operação, externalidades).

Para identificar os fatores intervenientes no desempenho de SAAIAF, seguiram-se os seguintes passos: 1. realização de uma revisão de literatura; 2. seleção de trabalhos que acrescentassem informações e discussões relevantes para o planejamento e desempenho deles; 3. a partir da leitura e análises dos trabalhos selecionados, obtenção de informações relevantes e tradução à uma lista de fatores, a qual foi organizada nas dimensões natural e humana, e em subgrupos dessas.

Na sequência são destacadas algumas estratégias metodológicas empregadas para a revisão de literatura:

1. Buscaram-se trabalhos identificados por Albán (2018) com potencial de auxiliar à compreensão da configuração de SAAIAF e de contribuir com discussões sobre fatores que influenciam no seu desempenho em nível individual, local e regional. Alguns desses estudos são: Srivastava (1996), Shinde; Gorantiwar e Smout (2004), Wisser *et al.* (2010), Devineni *et al.*,

(2013), Van Der Zaag e Gupta (2008), Van Meter (2016), Adham *et al.* (2016 a, 2016 b, 2016c).

2. Foram procurados trabalhos técnico-científicos sobre armazenamento de água para irrigação, com o auxílio da base de revistas escritas em inglês da CAPES e do buscador de literatura acadêmica *Google-Scholar*, no qual foram inseridas palavras-chave relacionadas com o assunto, com ênfase em sistemas de armazenamento distribuído ou pequenos reservatórios, por mostrarem maior potencial de atender as demandas hídricas, socioeconômicas e institucionais da agricultura familiar. Procuraram-se palavras relacionadas a estruturas para armazenamento da água local (em inglês *small reservoir, small dams, Rainwater harvesting systems, local water storage*) planejadas/implementadas para uso na agricultura familiar (em inglês *small irrigation systems, farm system*). Entre os estudos identificados nessa revisão, foram destacados os de: Habets *et al.* (2014), Rufin *et al.* (2018), Nikkels *et al.* (2019), Blanc e Strobl (2013), Srinivasa *et al.* (2017), Piemontese *et al.* (2020).
3. Posteriormente foram consultadas referências citadas nos trabalhos identificados, assim como trabalhos posteriores que os referenciaram. Alguns desses estudos resultantes são: Eriyagama *et al.* (2020,2021, 2022), Brasil e Medeiros (2019), Archidiacono (2019), Habets *et al.* (2018), Campos *et al.* (2016), Araújo e Pruski (2015), Lindoso *et al.*, (2018), Campos *et al.* (2003), Rodriguez e Liebe (2013).

A partir da leitura e análises dos trabalhos identificados na revisão de literatura, foram identificados fatores ou aspectos relacionados, que estão associados com o desempenho e, portanto, com a definição/avaliação da configuração de SAAIAF.

É importante destacar que as estratégias propostas para a revisão de literatura visaram a identificação e discussão abrangente de fatores relacionados ao desempenho de SAAIAF que possam dar diretrizes para o planejamento das estruturas em qualquer contexto e região. A identificação dos fatores foi construída ao longo do transcurso da pesquisa, não atualizando as referências já identificadas, e sim adicionando aquelas que contribuía com a discussão.

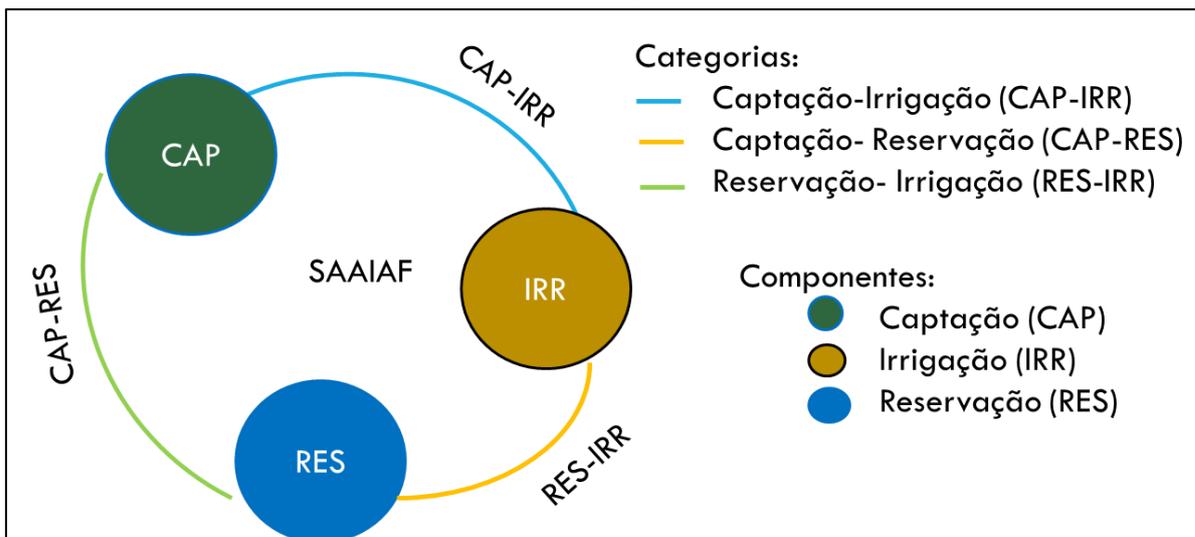
Os fatores foram agrupados nas dimensões natural e humana. Em seguida, eles foram agrupados em categorias dentro das respectivas dimensões, por se entender o SAAIAF como um sistema socio-hidrológico. Os fatores da dimensão natural foram agrupados nas categorias água, solo e clima; pela relevância dessas componentes no ciclo hidrológico. Os fatores da dimensão humana foram agrupados nas categorias social, político, institucional, econômica, cultural e técnica.

4.2 DESENVOLVIMENTO DE MODELO CONCEITUAL PARA A DEFINIÇÃO E AVALIAÇÃO DE SAAIAF

Para a construção do modelo conceitual, estabeleceu-se que todo SAAIAF é composto por três componentes, de acordo a suas funções de captar água de uma superfície, armazenar a água captada em uma estrutura e suprir as demandas hídricas para irrigação de uma determinada lavoura, sendo essas denominadas de captação (CAP), reservação (RES) e irrigação (IRR) respectivamente (como representado na Figura 2).

- A componente CAP agrupa elementos que incidem no processo de captação e coleta de água, como a área de captação, o tipo de superfície de captação, o coeficiente de escoamento, entre outros.
- A componente RES agrupa elementos associados com a estrutura de armazenamento de água, como o tipo de tecnologia, suas dimensões e geometria, material construtivo, sua distribuição espacial, entre outros.
- A componente IRR agrupa elementos empregados para caracterizar um sistema de irrigação próprio da agricultura familiar, como tipos de culturas, cronogramas de cultivos, eficiência de irrigação, entre outros.

Figura 2. Representação do modelo conceitual para auxiliar a configuração de SAAIAF, mostrando as componentes CAP, RES e IRR, e as categorias definidas como relações entre essas componentes.



Fonte: Própria.

Para a identificação e seleção de indicadores foram utilizadas as referências bibliográficas empregadas para a identificação e seleção de fatores que influenciam no desempenho e configuração de SAAIAF (ver item 4.1).

A partir da leitura e análise dos trabalhos identificados na literatura, foram identificadas relações entre elementos das componentes CAP, RES e IRR, com potencial de auxiliar na avaliação do desempenho e na definição da configuração de SAAIAF. Esse processo consistiu em identificar parâmetros ou indicadores utilizados nos trabalhos identificados e verificar se esses eram relações entre elementos das componentes CAP e RES, CAP e IRR, ou RES e IRR. Os indicadores foram categorizados em captação-irrigação (CAP-IRR), captação-reservação (CAP-RES), e reservação-irrigação (RES-IRR), em função da natureza dos elementos representados nelas, como representado na Figura 2.

Exemplo: em Albán 2018 foram identificados 3 indicadores para avaliar a capacidade de armazenamento em uma região: CCR, CCR_{ideal} e SI. CCR relaciona a área de captação e a área de irrigação; CCR_{ideal} relaciona a lâmina de escoamento e a lâmina de irrigação; e SI o volume disponível para armazenamento e o volume demandado do sistema. Cada um desses indicadores relaciona um elemento da componente captação, com um elemento da componente irrigação. Por isso esses indicadores foram selecionados para a

composição do modelo conceitual para SAAIAF e se organizaram na categoria CAP-IRR.

Para cada um dos indicadores identificados, foi descrita a relação de seus elementos e sua relevância. Adicionalmente foram sinalizados valores de referências identificados na literatura para a maioria dos indicadores, quando estivessem disponíveis. As análises e discussões dos indicadores foram realizadas por categoria.

Posteriormente foi proposta uma forma de operacionalização dos indicadores, alocando variáveis aos elementos identificados nos indicadores dentro da realidade de SAAIAF.

4.3 AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL NA BACIA DO CÓRREGO SOSSEGO

Para testar o potencial do modelo utilizou-se uma situação hipotética para representar uma condição hidro-agroclimática da agricultura familiar, com base em informações disponíveis da bacia hidrográfica do Córrego Sossego. Isso porque o Córrego Sossego já foi utilizado como bacia experimental de diversas pesquisas no contexto da gestão integrada e participativa de recursos hídricos, com foco no desenvolvimento sustentável local (RIBEIRO, 2019; ALBÁN, 2018; CONTE, 2017; BATISTA, 2016; MARQUES, 2015; LIMA, 2013; DARÉ, 2013; POLONI, 2010). Além disso, a região é ideal para esse tipo de pesquisa por: 1 - ser categorizada como uma pequena bacia hidrográfica, o que facilita o diálogo ou organização de usuários para uso distribuído e integrado de SAAIAF em bacia hidrográfica; e 2 - possuir demandas hídricas consideráveis (em proporção à disponibilidade hídrica da bacia) para atendimento de pequenos sistemas de irrigação próprios da agricultura familiar (ALBÁN, 2018; DARÉ, 2013; LIMA, 2013).

Assim, foram obtidas informações de algumas dessas experiências de pesquisa, especificamente a de Albán (2018), as quais são expostas no **Apêndice A**. Mesmo que foram empregadas informações reais da bacia do Córrego Sossego, a aplicação foi considerada hipotética, pois se criou um cenário que não é real. Por exemplo, para aplicação, assumiu-se que o total do volume de água

produzido pelo escoamento da chuva na bacia seria utilizado pelo SAAIAF, que atende unicamente os requerimentos hídricos de irrigação e desconsidera outros usos na bacia. Essa situação é improvável de acontecer em muitos contextos, especialmente na escala de pequena bacia hidrográfica.

O objetivo da aplicação é testar qual o tipo de informações necessárias para aplicar o modelo conceitual, e discutir como podem ser utilizados os resultados dos indicadores para contribuir com a definição e avaliação da configuração de SAAIAF. Por isso, foram propostos dois testes para a aplicação do modelo conceitual na bacia experimental: 1- sem informações sobre a configuração de SAAIAF, para contribuir no diagnóstico/avaliação do potencial de armazenamento para algumas condições hidro-agroclimáticas específicas, e 2 - para diferentes tecnologias comumente empregadas na agricultura familiar, para avaliar especificidades e desempenhos de diferentes tipos de tecnologias na bacia experimental.

4.3.1 Informações sobre a bacia experimental do Córrego Sossego

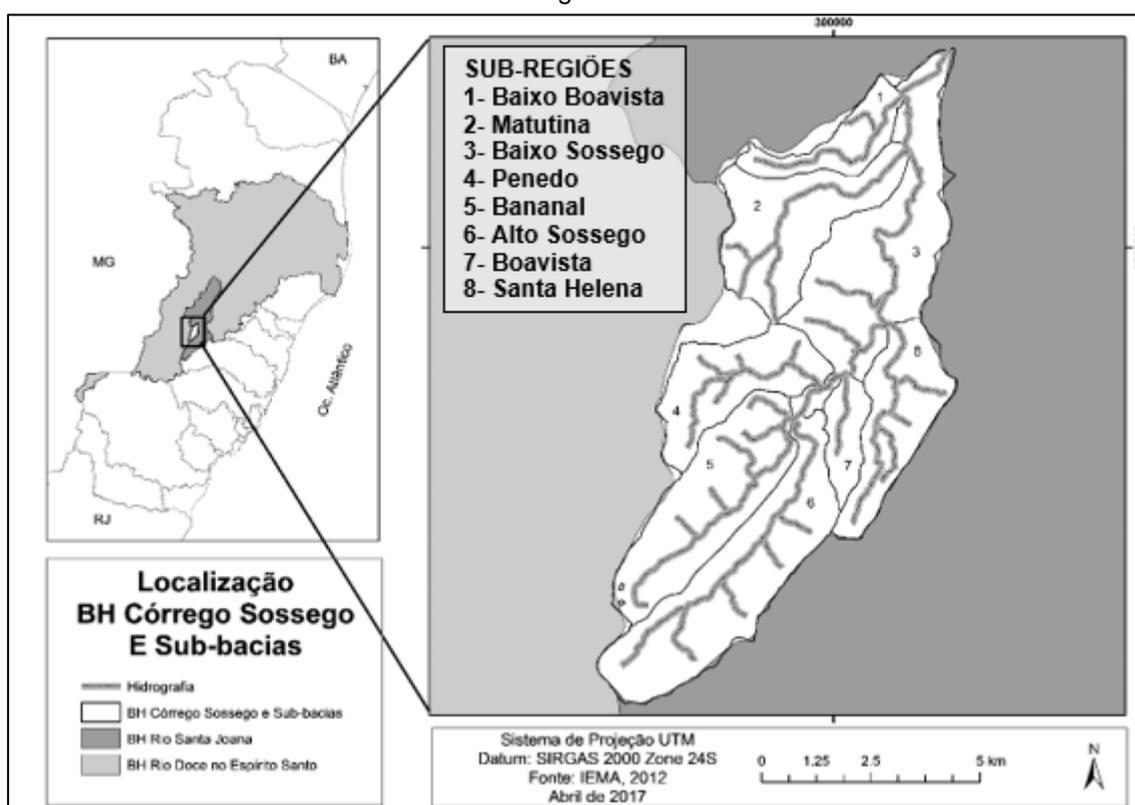
A bacia do Córrego Sossego está inserida na bacia hidrográfica do rio Santa Joana, afluente do rio Doce. Está localizada no município de Itarana/ES, na longitude 40,88 W e latitude 19,83 S (ver Figura 3), e é uma região representativa das características de pequenos sistemas de irrigação no estado do Espírito Santo, sendo reportadas 148 propriedades de tipo familiar dentro de seu limite geográfico (LIMA, 2013). Nessa região, as principais culturas são o café e a banana, as quais possuem alto valor comercial, e a mão de obra da produção é representada por famílias que subsistem dessa produção e de sua comercialização (LIMA, 2013; DARÉ, 2013; BATISTA, 2016; ALBÁN, 2018). A bacia possui área de drenagem de aproximadamente 65 km² e pode ser dividida em oito sub-regiões hidrográficas, considerando os afluentes principais, assim como seus trechos alto e baixo.

A região está classificada com o clima do tipo “Aw”, ou seja, clima tropical chuvoso, com estação seca no inverno e registra precipitações médias totais anuais de cerca de 1100 mm, com maior concentração interanual nos meses de outubro a março, equivalente aos 80% do total anual (DARÉ, 2013). A região se caracteriza por ter uma baixa disponibilidade hídrica em relação às suas

atividades socioeconômicas, sendo frequentes os conflitos pelo uso da água na bacia.

No trabalho de Albán (2018) a região foi caracterizada por suas propriedades hidro-agroclimáticas, mediante análises de informação geográfica de modelos de elevação do terreno e de mapas de uso de solo; análises estatísticas de séries temporais do clima provenientes de estações meteorológicas próximas ao local de estudo; e análises de métodos de balanço hídrico do complexo água-solo-planta, com fins de obter estimativas das séries mensais de demanda e disponibilidade para determinar a capacidade hídrica de reservação da bacia. A caracterização feita por Albán (2018) considerou diferentes tipos de culturas e simplificações sobre o cronograma de cultivo e a eficiência de irrigação, informações que podem ser revisadas no **Apêndice A**.

Figura 3. Localização da bacia hidrográfica do Córrego Sossego e suas sub-regiões hidrográficas



Fonte: Albán (2018)

4.3.2 Teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF

Primeiro testou-se o modelo na bacia experimental do Córrego Sossego sem considerar informações sobre a configuração de SAAIAF, ou seja, sobre o

número, localização, capacidade e tipo de tecnologia de armazenamento a ser implementada. Para descrever a espacialização do sistema para essa aplicação foi considerada que a área total da bacia (ATOT) é a soma da área de irrigação (AIRR) e da área de captação (ACAP)⁴, considerando que o uso da água na bacia é apenas para irrigação das propriedades agrícolas.

$$ATOT = AIRR + ACAP$$

Para caracterizar a componente de CAP e IRR da bacia, utilizaram-se as informações de disponibilidade e demanda hídrica anuais da bacia do Córrego Sossego, segundo o apresentado por Albán (2018). Essas informações podem ser revisadas no **Apêndice A**.

Para caracterizar a componente reservação (RES), assumiu-se: 1. que o SAAIAF estaria composto por pequenas estruturas de armazenamento de água superficial distribuídas ao longo da bacia; 2. que a capacidade de armazenamento (S) seria equivalente ao volume de regularização; e 3. que área da componente reservação (ARES) foi determinada para estruturas escavadas. Na sequência são explicitadas essas considerações

1. Para planejamento de SAAIAF distribuídos, consideram-se pequenas estruturas de armazenamento espalhadas pela bacia. Utiliza-se uma profundidade de 2 metros⁵ para garantir que a capacidade dessas estruturas fosse pequena o suficiente para sua distribuição. Isso em conforme os valores discutidos na seção 3.4 para estruturas pequenas e descentralizadas.

⁴ Consideração que também foi assumida no trabalho de Albán (2018) para determinar a capacidade de reservação na região. Essa simplificação poderia dar a entender que a área de reservação está fora da área estudada ou que é tão pequena que não é considerada. Uma espacialização mais recomendada seria aquela em que ATOT seja a soma de ACAP, ARES e AIRR. Porém, para aplicar essa abordagem, se requerem informações prévias sobre a configuração de SAAIAF.

⁵ Na aplicação, o valor de 2 m foi utilizado para aplicar o modelo e entender os resultados, portanto é importante estar ciente que quanto maior a profundidade menor será a área reservada para uma mesma capacidade de armazenamento, o que pode alterar os resultados dos indicadores do modelo.

2. Se assume que S é igual ao volume de regularização, que avalia o déficit acumulado entre a demanda e a disponibilidade hídrica para um período estabelecido (**ver Apêndice A**).

3. Para tecnologias que dependem da escavação do solo para sua implementação e funcionamento, se assume que a geometria da estrutura de armazenamento é equivalente a um Cone, por tanto ARES equivale a 3 vezes S dividido a profundidade da estrutura, como recomendado pela FAO (STEPHENS, 2010, p.44).

4.3.3 Teste para diferentes tecnologias

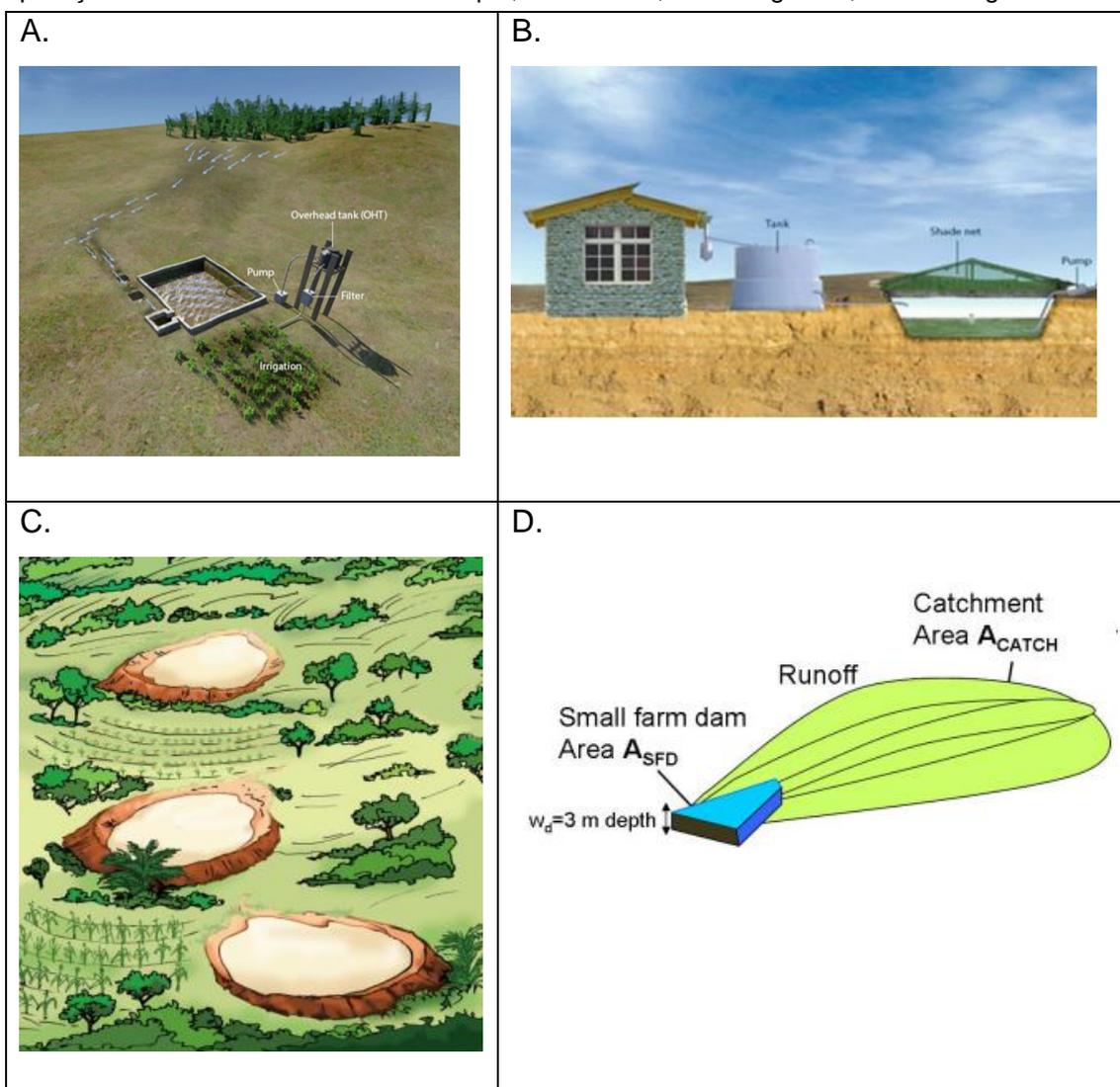
Para propósitos do teste, foram selecionadas tecnologias de armazenamento hídrico *ex-situ* comumente empregadas na agricultura familiar. De modo que fosse possível distinguir as superfícies das componentes captação (CAP), reservação (RES) e irrigação (IRR). Dada a diversidade de classificações de tipos de tecnologias de armazenamento, identificaram-se quatro por sua relevância na literatura e potencial aplicabilidade na região de estudo: três escavadas (tanques, barragens e barraginhas) e uma não escavada (cisterna). Na sequência são descritas cada uma das tecnologias, assim como os mecanismos ou características que as diferenciam.

- Tanques (*tanks and ponds*) são reservatórios com pequena capacidade de armazenamento, localizados em fazendas. Estas estruturas podem estar ou não conectados a rios principais.
- Cisternas (*cisterns*) são estruturas de armazenamento que coletam e retêm água da chuva de superfícies impermeáveis (teto, calçada, rochas), normalmente instaladas perto das residências ou das áreas agrícolas. Normalmente são estruturas cobertas, evitando a evaporação e, assim, garantindo a preservação da água coletada.
- Barragens (*small Earth dam* ou *dams*) referem-se a todo tipo de estrutura de armazenamento hídrica que foi construída a partir do solo do local, na rede de drenagem do curso hídrico. As dimensões e a capacidade de armazenamento das barragens dependem de sua localização e do relevo do terreno.

- Barraginhas (*pans, percolations ponds, Doha Models*) são estruturas em depressões naturais, geralmente de pequenas dimensões, conectadas a riachos sazonais de ordem inferior, que podem estar localizadas em propriedades ou em terras comuns. Sua função está mais relacionada com a recarga de aquíferos e o aumento da disponibilidade de água no solo. No entanto, também podem ser usadas para colheitas coletivas para irrigação e recarga de água subterrânea (Sekar; Randhir, 2007).

Na Figura 4 se apresentam representações de cada uma dessas tecnologias.

Figura 4. Representações das tecnologias de armazenamento locais superficiais utilizadas na aplicação do modelo conceitual: A. Tanque, B. Cisterna, C. Barraginhas, e D. Barragem.



Fonte: A. De Trincheria *et al.* (2017), B. De Trincheria *et al.*, (2017), C. Embrapa (2009). e D. Habets *et al.*, (2014).

Foram caracterizadas representações de cada tecnologia em função de elementos das componentes captação (CAP), reservação (RES) e irrigação (IRR), compreendendo que cada um se comporta como um SAAIAF independente. A caracterização considerou simplificações sobre a espacialização da tecnologia como um SAAIAF, os mecanismos e diferenças para captar e armazenar água, e as condições hidro-agroclimáticas da bacia experimental do Córrego sossego (informações que podem ser consultadas no Apêndice A).

A espacialização das tecnologias foi definida com base na estratégia de planejamento individual, coletiva e mista; explicadas na sequência para cada tipo de tecnologia.

- Para as tecnologias tanque e cisterna, foi utilizada a abordagem individual, que considera o tamanho de propriedade agrícola como limite do sistema. Desta forma, a caracterização assume que as superfícies das componentes CAP, RES, IRR se encontram nos limites geográficos da propriedade.

Para as barragens, tecnologias geralmente localizadas na calha do rio (ou rede hidrográfica), utilizou-se uma abordagem coletiva, pois a localização dessas estruturas geralmente não corresponde aos limites das propriedades, mas, sim a sua localização na rede de drenagem. Com isso, sua capacidade volumétrica (em função da área de drenagem) pode exceder a demanda hídrica de irrigação de uma propriedade/usuário, sendo mais apropriada para o uso coletivo de um ou mais usuários/propriedades (LASAGE; VERBURG, 2015). Assumiu-se que as barragens se distribuem em sub-regiões hidrográficas da bacia. Para verificar o efeito de diferentes distribuições, foram propostas duas representações: BARRX1, que representa uma barragem por sub-região hidrográfica; e BARRx3, que representa uma abordagem mais distribuída onde são planejadas 3 barragens por sub-região hidrográfica.

- Para as barraginhas utilizou-se a abordagem mista, pois se entende que essas tecnologias podem ser planejadas para locais estratégicos visando aumentar seu desempenho e que podem estar ou não dentro dos limites da propriedade, mas que cuja capacidade volumétrica é pequena, mais

relacionada para aumento da disponibilidade hídrica para irrigação em propriedades.

A partir dessas abordagens se estabelecem outras considerações para caracterizar a representação de cada tecnologia.

- Na bacia do Córrego Sossego identificaram-se 8 sub-regiões hidrográficas com aproximadamente 150 propriedades⁶ como sinalizado no item 4.3.1. Assume-se que as características hidro-agroclimáticas são homogêneas tanto nas sub-regiões como nas propriedades. De modo que as áreas de irrigação e de planejamento são as mesmas entre sub-regiões e entre as propriedades⁷. Nesse sentido, a AIRR de cada propriedade equivale à calculada para a bacia do Córrego Sossego (**ver apêndice A**) dividida pelo número de propriedades. Do mesmo modo que AIRR e ACAP de cada sub-região equivalem às calculadas para a bacia piloto dividida pelo número de sub-regiões.
- Para as tecnologias tanque, cisterna e barraginha, a área total do sistema (ATOT) equivale a soma de ACAP, ARES e AIRR; e AIRR é a área de irrigação da propriedade.
- Para a representação do tanque, foi assumido que ATOT é a área de propriedade. Também foi assumindo que se destina a 50% dessa ATOT para irrigação e 10% para armazenamento. Nesse sentido, ATOT é o dobro de AIRR, ARES é uma décima parte (1/10) de ATOT, e ACAP é a diferença entre ATOT e a soma de ARES e AIRR.
- Já para as cisternas adotaram-se as dimensões da cisterna de 52.000L de capacidade, 1,8 m de profundidade de 6,4 m de diâmetro (SESAN, 2017), como recomendado pelo programa uma terra e dois águas P1+2

⁶ Lima (2013) identificou 148 propriedades, mas para motivos da aplicação foi assumido que o número de propriedades da situação simulada é de 150. O número das propriedades influencia na área irrigada por bacia hidrográfica, na área da propriedade e, portanto, na espacialização das tecnologias individuais e mista.

⁷ Essa simplificação foi realizada para poder representar uma tecnologia (tanque, cisternas, BARRX1, BARRX3 e barraginha) típica para a bacia, mas destaca-se que a variabilidade espacial das características hidro agroclimáticas é importante para distribuir os SAAIAF em bacia hidrográfica, como discutido em Albán (2018)

para manter pequenas hortas e quintais produtivos para o consumo familiar no semiárido brasileiro (LINDOSO *et al.*, 2018).

- Para as barragens ATOT é a soma de ACAP e AIRR, como proposto no teste sem informações sobre a configuração (ver item 4.3.2). Dado que a estrutura de armazenamento da barragem fica na foz da sub-região hidrográfica, se assume que ATOT é a área de drenagem da sub-região hidrográfica para BARRX1, e uma terceira parte desse valor para BARRX3. Essa mesma relação se aplica para determinar ACAP e AIRR de BARRX1 e BARRX3.
- Para as barragens, assumiu-se que a capacidade de armazenamento (S) equivale aos 50%⁸ do volume de regularização para atendimento das demandas hídricas, o qual equivale ao déficit cumulativo entre as séries da demanda e disponibilidade mensal. O volume de regularização foi estabelecido para a bacia do Córrego Sossego (ver **Apêndice A**), após subtrair os 50%, dividiu-se o resultado pelo número de unidades de armazenamento necessário para o atendimento da bacia. Com isso, o número de unidades de armazenamento foi definido em função do número de sub-regiões hidrográficas (8) e do nível de distribuição do protótipo, sendo de oito para BARRX1 e vinte quatro para BARRX3.
- Assume-se que se implementam 2 barraginhas por propriedade. Isso porque se reforçam as vantagens de instalação dessas estruturas em comparação com as outras tecnologias, as quais podem ser empregadas em série com distâncias de 10-20 metros entre elas (Meshesha e Kare, 2019). No entanto, consideram-se apenas 2 estruturas por propriedade, em função de viabilizar a manutenção das mesmas pelas famílias usuárias. De modo que AIRR de esse sistema, será equivalente à metade de área irrigada em uma propriedade.
- Para a barraginha foram adotados valores de referência com base em informações na literatura, de modo que se definiu uma área superficial da

⁸ Essa porcentagem foi assumida para não usar todo o volume disponível para dimensionar as barragens, visando ao uso integrado de outras estruturas de armazenamento.

barraginha em 20 m de largura por 12 m de comprimento (EMBRAPA, 2009; MESHESHA E KHARE,2019)⁹.

- As profundidades das tecnologias foram assumidas segundo os mecanismos diferenciados de cada tecnologia para armazenar água. Para o tanque e as barragens, quanto maior capacidade da estrutura, maior a profundidade de armazenamento, sem superar o valor de 4 m de pequenas estruturas (Balderama, 2014). Sendo de 2, 3 e 4 m para o tanque, BARRX1 e BARRX3, respectivamente. Já a profundidade da cisterna de 1,8 m foi dada pelas dimensões estabelecidas para a cisterna de produção de 52.000 L (SESAN, 2017). Procurou-se fazer com que a profundidade da barraginha fosse inferior às outras tecnologias, pois se caracteriza por garantir maior infiltração e estar mais exposta à evaporação (maior área superficial-capacidade)¹⁰, e se alocou uma profundidade de 1,3 m.

Sobre as simplificações e as incertezas atreladas ao tratamento das informações, destaca-se que a aplicação do modelo não deseja ser precisa com a avaliação e o planejamento de SAAIAF na bacia do Córrego Sossego. A aplicação do modelo conceitual desenvolvido procura demonstrar seu potencial para considerar diferentes tipos de mecanismos de captação e de armazenamento, com abordagens de planejamento individual e coletiva, para uma realidade de agricultura familiar em pequena bacia hidrográfica. Isso com a intenção de mostrar que o modelo pode contribuir com o desafio de planejamento integrado de SAAIA, especificamente com a definição da sua configuração.

⁹ Com essas dimensões a barraginha tem uma capacidade de armazenamento entre 100 e 150 m³, como recomendado por EMBRAPA (2009).

¹⁰ Destaca-se a discrepância do valor da profundidade dessa última tecnologia. Meshesha e Khare (2018) recomendam valores entre 5 e 20 m, a Embrapa (2009) entre 2 e 3 m, e Shashank e Gyanesh (2019) identificaram profundidade média de 3m.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

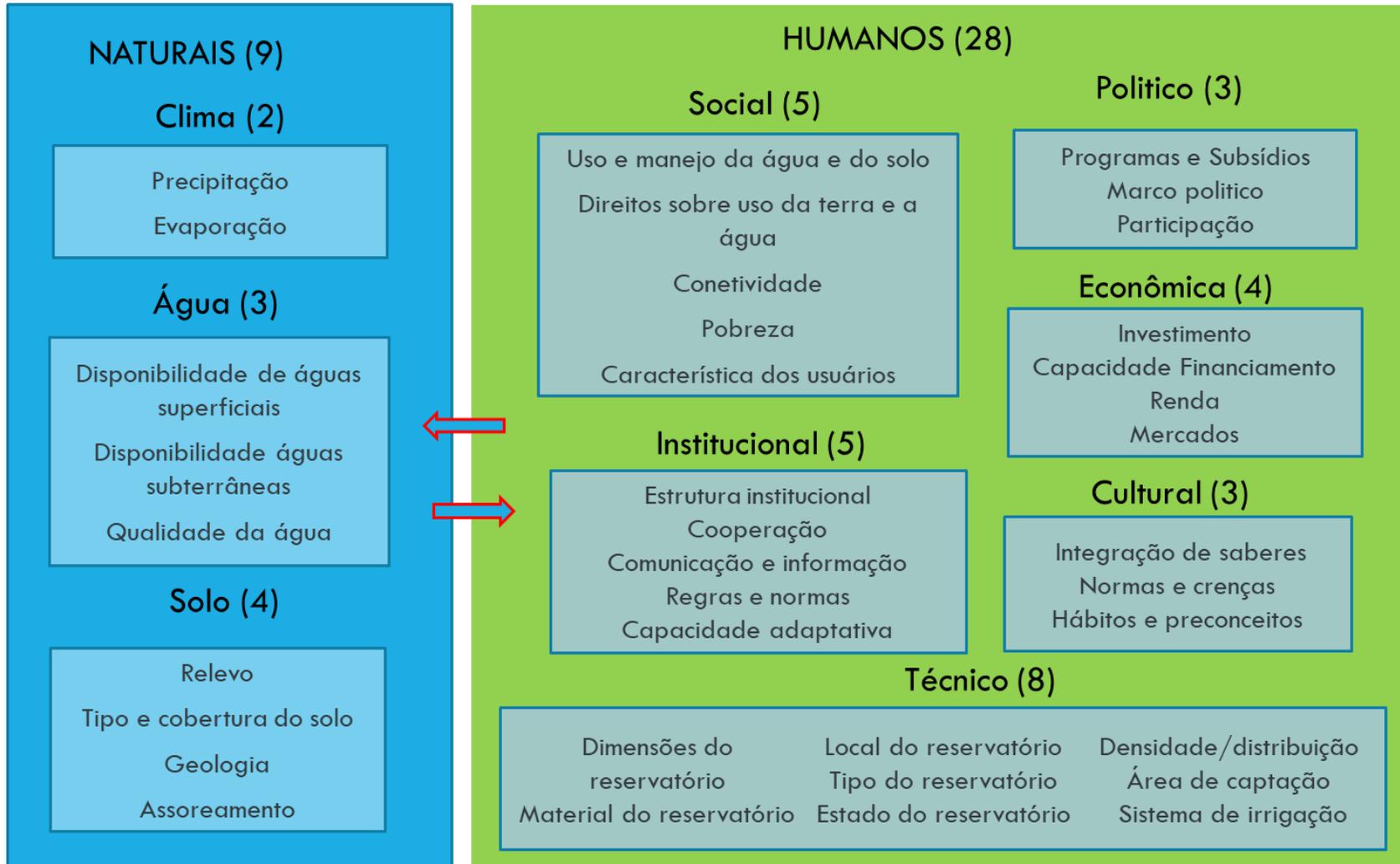
5.1 IDENTIFICAÇÃO DE FATORES INTERVINENTES

Foram identificados 37 fatores que podem influenciar no desempenho de SAAIAF e, portanto, na definição da configuração desses sistemas. Dado a compreensão de SAAIAF como sistema sócio-hidrológico, os fatores foram organizados nas dimensões natural e humana, que por vez foram organizados em categorias segundo a sua natureza, sendo essas clima, água e solo para a dimensão natural; e social, político, institucional, econômica, cultural e técnico para a dimensão humana (ver Figura 5). Além da influência de cada um desses fatores sobre o desempenho de SAAIAF, se identificam que muitos desses incidem também no estado/condição de outros fatores, estabelecendo inter-relações. Essas inter-relações estão representadas na Figura 5 pelas setas que atravessam a dimensão natural e a dimensão humana, indicando que existem conexões entre essas dimensões que devem ser consideradas para compreender melhor o desempenho de SAAIAF.

Os fatores naturais identificados (9) estão relacionados com elementos do ciclo hidrológico. No Quadro 1 é descrita a relevância de cada um dos fatores listados da dimensão natural. Sobre isso destacaram-se algumas inter-relações entre os fatores dessa dimensão pela sua relevância para SAAIAF:

- As condições climáticas, como a sazonalidade de uma região, influenciam na definição do tipo de tecnologia, do tipo de culturas, do cronograma de plantio, da operacionalização de reservatórios, entre outros elementos, associados à configuração de SAAIAF. Essas características têm uma influência importante na determinação da disponibilidade e demanda hídrica de SAAIAF, sendo destacados fenômenos relacionados à precipitação e à evaporação, que influenciam tanto nos fluxos hídricos de entrada como nos de saída do sistema. Nesse sentido, a sazonalidade e as mudanças climáticas podem influenciar em grande medida no desempenho de SAAIAF (KISAKYE; BRUGGEN; VAN DER, 2018), do mesmo modo que a implementação de SAAIAF em uma região pode mitigar os efeitos da variação climática, especificamente aos relacionados com a variabilidade das chuvas (SRINIVASA *et al.*, 2017).

Figura 5. Representação de fatores que podem influenciar no desempenho e, portanto, na definição da configuração, de SAAIAF organizados nas dimensões natural e social e agrupados em categorias.



- As propriedades do solo influenciam de forma importante na partição dos fluxos da água na superfície terrestre e, portanto, estão fortemente relacionadas com a disponibilidade hídrica de uma região, tanto de água superficial, como de água subterrânea. Além disso, as propriedades do solo influenciam na viabilidade e produção de alimentos, e por isso estão indiretamente relacionadas com a demanda hídrica de SAAIAF. Ainda que estudar as propriedades do solo não tenham sido o foco das pesquisas levantadas na revisão de literatura, identificaram-se que parâmetros atrelados a essas características são importantes para definir e avaliar SAAIAF. Por exemplo, modelos hidrológicos empregados para determinar a disponibilidade hídrica do sistema usam características como tipo, uso e declividade do solo para identificar locais e tipos de tecnologias de armazenamento hídrico mais apropriados (RANA; MARUTHI; SURYANARAYANA, 2020; SAYL; ADHAM, 2020; MATOMELA; LI; IKHUMHEN, 2020), e para explicar a densidade de estruturas de armazenamento de sistemas existentes (GHANSAH *et al.*, 2018).

Quadro 1. Fatores da dimensão natural que influenciam no desempenho e, portanto, na definição da configuração de SAAIAF

CATEGORIA	FATORES	CONSIDERAÇÕES GERAIS
CLIMA	Precipitação	A precipitação influencia no balanço hídrico do complexo água-solo-planta presente em SAAIAF: no volume de escoamento, nas entradas de água sobre a estrutura de armazenamento e na demanda hídrica de irrigação das culturas. É um dos fatores mais estudados em sistemas de armazenamento hídrico (MARTÍNEZ; LÓPEZ; LÓPEZ, 2019).
	Evaporação	Refere-se apenas ao conjunto de fatores climáticos (radiação solar, vento, temperatura) que promovem o fenômeno de evaporação. Em SAAIAF a evaporação influencia na demanda hídrica de irrigação e nas perdas por evaporação nas estruturas de armazenamento, as quais têm potencial de ser superiores para estruturas de pequenas dimensões (MCCARTENEY <i>et al.</i> , 2013; BRASIL; MEDEIROS, 2019; CAMPOS <i>et al.</i> , 2003).
	Relevo	O relevo, além de incidir no trajeto da água na superfície, também influencia na definição do tipo e dos custos das tecnologias empregadas (PAYEN; FAURÈS; VALLÉE, 2012). Dessa forma, o relevo é importante para selecionar locais apropriados para estruturas de armazenamento de água (RANA; MARUTHI; SURYANARAYANA, 2020; SAYL; ADHAM, 2020; MATOMELA; LI; IKHUMHEN, 2020; PIEMONTESE <i>et al.</i> , 2020).
	Tipo e Cobertura do solo	O tipo e a cobertura do solo influenciam na partição dos fluxos hídricos após um evento de precipitação, assim como também na variação da evaporação (exemplo: a cobertura vegetal está relacionada a processos de evapotranspiração). Esses fatores são comumente considerados na determinação da produção de escoamento, na localização apropriada e

Quadro 1. Fatores da dimensão natural que influenciam no desempenho e, portanto, na definição da configuração de SAAIAF

CATEGORIA	FATORES	CONDICIONAMENTOS GERAIS
		na avaliação de impactos de SAAIAF (RANA; MARUTHI; SURYANARAYANA, 2020; SAYL; ADHAM, 2020; MATOMELA; LI; IKHUMHEN, 2020; PIEMONTESE <i>et al.</i> , 2020).
	Geologia	Condições geológicas afetam a segurança e a estabilidade de reservatórios de água (TIAN, YAN CAO; 2021). Wiatkowski <i>et al.</i> (2021) indicam que condições hidrogeológicas, como o tipo de substrato geológico do reservatório e perdas por infiltração, devem ser consideradas na avaliação de SAAIAF.
	Assoreamento	À medida que sedimentos se acumulem no fundo, de estruturas de armazenamento de água, sua capacidade de armazenamento é reduzida, influenciando no desempenho de SAAIAF (MCCARTENEY <i>et al.</i> , 2013; WIATKOWSKI <i>et al.</i> , 2021).
ÁGUA	Disponibilidade de águas superficiais	A disponibilidade hídrica e sua distribuição espacial e temporal podem contribuir na definição de tipos e locais apropriados de tecnologia de armazenamento de água e no desempenho das mesmas (GRUM <i>et al.</i> , 2016; ALBÁN, 2018; MCCARTENEY <i>et al.</i> , 2013). A disponibilidade também define a urgência ou necessidade de implementar SAAIAF frente a uma demanda hídrica específica.
	Disponibilidade de águas subterrâneas	O uso e acesso de água subterrânea para pequenos sistemas de irrigação, ou por outras finalidades, podem influenciar na demanda e viabilidade de implementar SAAIAF. Além disso, estruturas de armazenamento em solos permeáveis aumentam a recarga de água em aquíferos e, portanto, a disponibilidade de água subterrânea para irrigação (DEORA; NANORE, 2019; GLENDENNING <i>et al.</i> , 2012; VAN METER <i>et al.</i> , 2016)
	Qualidade da água	Componentes físico-químicos e biológicos na água em reservatórios podem incompatibilizá-la para usos específicos, sendo mais restritivos para sistemas urbanos e para uso doméstico (BINNOTTI <i>et al.</i> , 2013). Em geral, é preocupante as concentrações de fósforo e nitrogênio que podem promover o processo de eutrofização nas águas armazenadas (WIATKOWSKI <i>et al.</i> , 2021).

Os fatores da dimensão humana identificados (28) foram agrupados em seis categorias: social, política, econômico, institucional, cultural e técnica. No Quadro 2 é descrita a relevância de cada um dos fatores listados dessa dimensão.

Quadro 2. Fatores da dimensão humana que influenciam no desempenho, e, portanto, na definição da configuração de SAAIAF.

CATEGORIA	FATORES	CONSIDERAÇÕES GERAIS
SOCIAL	Uso e manejo da água e do solo	O manejo do solo e da água está relacionado com a forma ou as estratégias adotadas para efetuar atividades econômicas e sociais que incidem nas características da água e do solo, influenciando assim nas dinâmicas dos fluxos de entrada e saída do SAAIAF. Informações sobre os usos da água e do solo permitem identificar locais com maior demanda ou potencial de armazenamento e indicar tipos de sistemas de armazenamento hídrico apropriados (ERIYAGAMA; SMAKHTIN; UDAMULLA, 2020, 2021, 2022; HABETS <i>et al.</i> , 2014; SHADEED; JUDEH; RIKSEN, 2020).
	Direito sobre terra e água	O reconhecimento insuficiente de “direitos” pré-existent de terra e água se associa a dificuldades para implementar esses sistemas em regiões de terras fragmentadas em pequenas fazendas (PIEMONTESE <i>et al.</i> , 2021; PAYEN; FAURÈS; VALLÉE, 2012; ZIADAT; BRUGGEMAN, 2012).
	Conectividade	Relacionada à proximidade de SAAIAF a centros urbanos ou recursos naturais, a conectividade pode favorecer ou dificultar o acesso a materiais e serviços requeridos para a implementação e operação de estruturas de armazenamento (BARRON <i>et al.</i> , 2015), assim como a comercialização de produtos provenientes da atividade agrícola.
	Pobreza	A pobreza influencia na aquisição de materiais e serviços e na capacitação de usuários para implementação, operação e gestão de SAAIAF (VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008; BITTERMAN <i>et al.</i> , 2016). Além disso, a distribuição desigual da riqueza (desigualdade) numa bacia determina as magnitudes dos benefícios e impactos de SAAIAF entre os atores envolvidos (PAYEN; FAURÈS; VALLÉE, 2012; BLANC; STROBL, 2013).
	Características dos usuários	Características dos usuários como nível de educação, emprego, experiência, idade, gênero, renda, entre outros, influenciam em sua capacidade de implementar, operar e gerenciar SAAIAF (PIEMONTESE <i>et al.</i> , 2021; ACHEAMPONG <i>et al.</i> , 2018).
POLÍTICO	Programas e subsídios	A implementação de programas e subsídios que promovam a aquisição de estruturas de armazenamento por meio da distribuição de recursos financeiros e técnicos, de entidades governamentais a famílias de agricultores, podem viabilizar a sua aplicação e favorecer sua replicação em escala regional (PIEMONTESE <i>et al.</i> , 2020; LINDOSO <i>et al.</i> , 2018).
	Marco político e/ou jurídico	Evidencia-se que condições políticas e jurídicas podem influenciar na tomada de decisões sobre a aquisição/planejamento de SAAIAF. Por exemplo, a distribuição de tecnologias de armazenamento da água pode estar relacionada a decisões políticas que favorecem a uma elite social (BLANC; STROBL, 2013).

Quadro 2. Fatores da dimensão humana que influenciam no desempenho, e, portanto, na definição da configuração de SAAIAF.

CATEGORIA	FATORES	CONSIDERAÇÕES GERAIS
	Participação	A participação da população e dos usuários em política e na gestão de recursos hídricos pode favorecer a replicação de tecnologias de armazenamento hídrico (BARRON <i>et al.</i> , 2015, SCHAAFSMA; UTILA; HIRONS, 2018; VAIDYA, 2015).
INSTITUCIONAL	Estrutura institucional	Refere-se às instituições e seu nível de formalidade para planejar e gerenciar SAAIAF, podendo ser agências governamentais, ou não, que operem em diversas escalas e finalidades (BITTERMAN <i>et al.</i> , 2016). A estrutura institucional influencia na acessibilidade de dados, na inclusão dos usuários e na integração de outros sistemas e medidas (VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008), assim como na viabilidade do gerenciamento e governança de SAAIAF (VAIDYA, 2015)
	Cooperação	A cooperação entre diversos atores pode subsidiar a capacidade de planejamento e gerenciamento de SAAIAF. A cooperação está relacionada com a capacidade de reação perante problemas e/ou impactos relacionados a implementação de SAAIAF (SCHAAFSMA; UTILA; HIRONS, 2018)
	Comunicação e informação	A comunicação de informações técnicas e científicas para os diferentes atores de SAAIAF influenciam na sua operação e seu gerenciamento (VAIDYA, 2015). O uso de mídia social (BLANC; STROBL, 2013), de plataformas de inovação de agricultura (BJORNLUND; PITTOCK, 2017) e de assistência técnica (ARCHIDIACONO, 2019) como canais de comunicação dessas informações são recomendados na literatura.
	Regras e normas	As regras e normas ajudam na organização de uma comunidade e na delimitação da função e relação de cada um dos seus atores com o SAAIAF (ARCHIDIACONO, 2019).
	Capacidade adaptativa	A capacidade adaptativa para lidar com condições adversas e em rápida mudança flexibiliza o emprego de SAAIAF e incrementa seus benefícios em situações repentinas (WARD; BUTLER, 2016; SCHAAFSMA; UTILA; HIRONS, 2018).
ECONÔMICA (LOCAL)	Investimento	A viabilização dos altos investimentos iniciais normalmente requeridos para implementar SAAIAF em nível individual e regional é um grande desafio. As fontes de investimento podem ser privadas ou públicas, materiais ou imateriais (SRINIVASA <i>et al.</i> , 2017; LINDOSO <i>et al.</i> , 2018; ARCHIDIACONO, 2019).
	Capacidade de Financiamento	A capacidade de financiamento está relacionada com o acesso a créditos, à renda e ao patrimônio dos usuários de sistemas de SAAIAF, assim como o acesso a benefícios recebidos de programas estatais. Ela é relevante para a replicação de tecnologias de armazenamento de água (BARRON <i>et al.</i> , 2015).
	Renda	O emprego de SAAIAF pode aumentar a produtividade agrícola e, portanto, a renda pela comercialização dessa produção (ACHEAMPONG <i>et al.</i> , 2018; BITERMAN <i>et al.</i> , 2016). Além disso, SAAIAFs também podem contribuir para diversificação da renda das famílias de agricultores.

Quadro 2. Fatores da dimensão humana que influenciam no desempenho, e, portanto, na definição da configuração de SAAIAF.

CATEGORIA	FATORES	CONSIDERAÇÕES GERAIS
	Mercado	O acesso a mercados pode influenciar na geração de renda agrícola e no tipo de culturas que podem ser vendidas, afetando a viabilidade de SAAIAF (BJORNLUND; PITTOCK, 2017; PIEMONTESE <i>et al.</i> , 2020; BARRON <i>et al.</i> , 2015).
CULTURAL	Integração de saberes	A integração de saberes permite fazer conexões entre diferentes tipos de conhecimentos, como o técnico-científico e o local, para favorecer proposições de soluções para SAAIAF mais robustas e aderentes à realidade local (ARCHIDIACONO, 2019).
	Tradições e crenças	Tradições e crenças podem influenciar na definição de regras para uso de SAAIAF e no modo como o usuário, ou outros atores do sistema, se relacionam com o eles e com o ambiente (VAIDYA, 2015; ARCHIDIACONO, 2019). Isso pode condicionar a seleção de um local apropriado, os tipos de cultura a serem produzidos e a adoção de práticas de manejo de água e do solo tradicionais, entre outros exemplos.
	Hábitos e preconceitos	Hábitos e preconceitos dos atores envolvidos no planejamento e operação de SAAIAF, como práticas de corrupção (PAYEN; FAURÈS; VALLÉE, 2012), movimentos segregacionistas como o racismo (BLANC; STROBL, 2010), a abstenção a política (BARRON <i>et al.</i> , 2015) e a desigualdade de gênero (ARCHIDIACONO, 2019), entre outros, podem influenciar a viabilidade, desempenho e configuração de SAAIAF.
TÉCNICA	Dimensões do reservatório	As dimensões das estruturas de armazenamento determinam a capacidade do reservatório, assim como as perdas por evaporação e infiltração (CAMPOS, 2010, ARAÚJO; PRUSKI, 2015; SAMPAIO <i>et al.</i> , 2020).
	Material do reservatório	Refere-se a materiais empregados para implementação do SAAIAF. O material influencia na viabilidade econômica, sendo mais favorável materiais obtidos de recursos do sistema ou próximos a ele. O tipo de material vai influenciar também nas interações água-solo do SAAIAF e nos benefícios/impactos no ambiente (GHIMIRE; JOHNSTON; 2019).
	Local do reservatório	Refere-se à posição geográfica de unidades de armazenamento. O local do reservatório determina as interações água-solo do SAAIAF e os benefícios/impactos nas suas proximidades (VAN METER <i>et al.</i> , 2016).
	Tipo do reservatório	Existem vários tipos de tecnologias de armazenamento de água que definem como se capta e armazena a água, podendo alterar a partição dos fluxos de SAAIAF. Assim, o tipo de tecnologia define se a captação da água será numa superfície impermeável como na cisterna, se o armazenamento será subterrâneo para evitar perdas por evaporação ou se terá capacidade para atendimento coletivo de vários usuários (HESSEL <i>et al.</i> , 2016; PAYEN; FAURÈS; VALLÉE, 2012).
	Estado do reservatório	O estado do reservatório pode afetar a capacidade de armazenamento do SAAIAF. O estado deteriorado de reservatórios pode levar a sua inutilização, sendo necessário

Quadro 2. Fatores da dimensão humana que influenciam no desempenho, e, portanto, na definição da configuração de SAAIAF.

CATEGORIA	FATORES	CONSIDERAÇÕES GERAIS
		repor, repara ou restaurar de estruturas de armazenamento pré-existentes para garantir seu funcionamento (AGORAMOORTHY; CHAUDHARY, 2016; VAN METER <i>et al.</i> , 2016).
	Densidade	A densidade volumétrica e/ou de reservatórios influencia o acesso e o nível de vulnerabilidade de agricultores familiares frente aos serviços prestados pelo SAAIAF. A densidade volumétrica, superficial ou de unidades de armazenamento do sistema está associada a capacidade de armazenamento, sua distribuição e à magnitude dos seus impactos positivos ou negativos (ERIYAGAMA <i>et al.</i> , 2021; HABETS <i>et al.</i> , 2014, 2018; MALVEIRA <i>et al.</i> , 2012).
	Superfície de captação	A área de captação é entendida como a superfície que capta a água que será armazenada no SAAIAF, de modo que as características dela, como declividade, área, impermeabilidade, incidem na disponibilidade do sistema. A área de captação deve ser grande o suficiente para manter o armazenamento médio do reservatório, mas não tão grande ao ponto de exceder a capacidade do reservatório (WANG, TIAN, CAO, 2021; MARÍN; SCHNABEL, 2019; SRIVASTAVA, 2001).
	Características do sistema de irrigação	Características do sistema de irrigação como área de irrigação, tipo de cultura (ALBÁN, 2018; GHIMERE; JOHNSTON, 2019), fase de desenvolvimento da cultura (HESSEL <i>et al.</i> , 2016), tecnologias de distribuição e aplicação do sistema de irrigação (RUFIN <i>et al.</i> , 2018), práticas de uso e manejo da irrigação (DE TRINCHERIA <i>et al.</i> , 2018) e localização da área de irrigação relativa ao reservatório (RUFIN <i>et al.</i> , 2018), influenciam na demanda hídrica do SAAIAF e nas dinâmicas dos fluxos relacionadas ao balanço hídrico dele.

Em relação aos fatores identificados na categoria humana, destacaram-se algumas inter-relações pela sua relevância para SAAIAF:

- O uso e manejo do solo e da água, atrelados a atividades econômicas e sociais, podem alterar de forma negativa propriedades da dimensão natural, o que pode trazer implicações no desempenho de SAAIAF. Os recursos da água e do solo necessários para empregar SAAIAF podem entrar em conflito com outras atividades econômicas e sociais, e competir por direito de usos dos recursos naturais (HESSEL *et al.*, 2016). Ao mesmo tempo, estruturas de armazenamento de SAAIAF podem trazer implicações sobre os fluxos hídricos em uma região, podendo alterar as

disponibilidades hídricas superficial e subterrânea, para benefício ou prejuízo de atividades econômicas e sociais (ERIYAGAMA; SMAKHTIN; UDAMULLA, 2020, 2021, 2022; HABETS *et al.*, 2014; SHADEED; JUDEH; RIKSEN, 2020).

- Um dos aspectos desafiantes da implementação de SAAIAF trata-se da inequidade na distribuição dos custos e dos benefícios entre os diferentes atores do sistema¹¹, em função da riqueza dos usuários e da sua posição em relação à rede de drenagem e/ou à estrutura de armazenamento (ERIYAGAMA *et al.*, 2022; BLANC; STROBL, 2013; VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008). Isso pode ser visto em diferentes escalas, identificando-se, por exemplo, alguns padrões como: desigualdade entre atores ricos e pobres em comunidades agrícolas é muito maior no nível comunitário do que no nível nacional¹² (BJORNLUND; PITTOCK, 2017), e estratégias de armazenamento hídrico para irrigação de pequena escala são mais estudadas em regiões caracterizados como “em desenvolvimento”, com climas áridos ou semiáridos (ex. na África Subsaariana, no Oriente Médio e na Índia), devido ao seu potencial para contribuir para o combate da pobreza e da insegurança alimentar (SHADEED; JUDEH; RIKSEN, 2020, SRINAVASTAVA *et al.*, 2017; HESSEL *et al.*, 2016; ADHAM *et al.*, 2016a; GLENDENNING *et al.*, 2012; WISSER *et al.*, 2010; PAYEN; FAURÈS; VALLÉE, 2012).
- Existem diferentes atores envolvidos no planejamento, implementação e operação de SAAIAF, como usuários, habitantes, comunidades, organizações governamentais e não governamentais; e que incidem de forma diferenciada no sistema para sua viabilidade e desempenho. Assim, compreender quais são os atores, suas respectivas capacidades e habilidades, e sua relação com os diferentes elementos do sistema,

¹¹ Os atores do sistema são aqueles envolvidos tanto na tomada de decisões sobre financiamento, planejamento, gerenciamento e operação da estrutura de armazenamento, como os que são impactados de forma positiva ou negativa pelos seus efeitos.

¹² Isso explica-se pela diversificação de renda das famílias de agricultores. No nível comunitário famílias mais pobres em recursos concentram-se no cultivo de culturas tradicionais, enquanto famílias com mais recursos são capazes de gerir os desafios e riscos associados ao cultivo de culturas de maior valor comercial, segundo o explicado por Bjornlund e Pittock (2017).

favorece a identificação de caminhos de adaptação, guiando o sistema ao longo de trajetórias alternativas (BITERMAN *et al.*, 2016). Destaca-se, por exemplo, que a incidência de atores distantes ou externos ao SAAIAF, com poder e/ou interesse para aprimorar o sistema, muitas vezes, podem também interferir em arranjos tradicionais que influenciam no gerenciamento do mesmo (VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008). Recomenda-se que os usuários do SAAIAF participem e realizem investimentos, matérias e não matérias, nas etapas de planejamento, implementação, operação e aprimoramento para favorecer sua sustentabilidade e governabilidade (ARCHIDIACONO, 2019).

Fatores da dimensão natural são comumente considerados em modelos de simulação, otimização ou de análises multicritério para avaliar desempenhos ou planejar condições de SAAIAF em realidades específicas (ADHAM *et al.*, 2016a, 2016b; GRUM *et al.*, 2016, HABETS 2014, 2018; MARÍN; SCHNABEL; PULIDO, 2020; ERIYAGAMA *et al.*, 2020, 2021). Isso porque estão mais relacionados a processos hidrológicos do local e ao balanço hídrico do sistema, e contribuem com a definição da capacidade de SAAIAF (ERİYAGAMA *et al.*, 2020; NIKKELS *et al.*, 2019; ALBÁN, 2018).

Os fatores da dimensão humana são empregados para discutir/avaliar a capacidade de uma realidade para garantir o sucesso de SAAIAF desde a perspectiva institucional, cultural, política, social, econômica e técnica, denominado como viabilidade do sistema (NIKKELS *et al.*, 2019). Com isso, fatores como renda, características dos usuários, atores envolvidos, capacidade financeira foram empregados para a quantificação dos custos, benefícios e impactos de SAAIAF (ARCHIDIACONO, 2019; NIKKELS *et al.*, 2019; MACHIWAL; KUMAR; DAYAL, 2018; ACHEAMPONG *et al.*, 2018). Os fatores técnicos, especificamente, estão associados as decisões de usuários ou *stakeholders* sobre o planejamento, operação e gerenciamento dos sistemas de irrigação e de armazenamento, citando-se como exemplos: o método, cronograma e equipamento de irrigação, a operação individual e/ou conjunta de reservatórios, a implementação integrada de fontes de águas subterrânea e transposição de água de um local para outro, ou a adoção de medidas emergências para cenários extremos.

A compilação desses fatores ajuda a pensar em questões que muitas vezes não são discutidas na hora de definir a configuração de SAAIAF, mas que podem influenciar na sua viabilidade e desempenho. No entanto, destaca-se que é necessário conhecer as especificidades do sistema para entender quais fatores, dos aqui listados, podem influenciar ou têm maior relevância para uma realidade específica. Pois, nem todas as relações e inter-relações aqui mencionadas serão relevantes para todos os sistemas, assim como também é possível identificar outros fatores e outras inter-relações, além das já discutidas, em função dos elementos naturais e humanos de uma realidade específica.

Adicional a esses fatores discutidos, identificaram-se algumas características de SAAIAF próprias de sistemas sócio-hidrológicos (SIVAPALAN; SAVENIJE; BLÖSCHL, 2012) que, por sua incidência no sistema, devem ser contempladas para seu planejamento, implementação, avaliação e operação. A seguir, citam-se:

- Variabilidade temporal: muitos dos fatores variam no tempo, como uso do solo, direitos de terra, entre outros. Destaca-se a variabilidade temporal associada com o ciclo hidrológico e o clima para efeitos de SAAIAF, sendo importante considerar a sazonalidade das chuvas e as mudanças climáticas para definir/avaliar a configuração deles.
- Variabilidade espacial: muitos dos fatores variam no espaço, influenciando na seleção da localização e tipo de tecnologias, entre outros aspectos. Entre eles destacam-se o uso, tipo e manejo do solo, os direitos de terra, a disponibilidade de recursos hídricos e naturais, entre outros. Deve se prestar atenção às relações a montante e a jusante da estrutura de armazenamento, pois dessas derivam os principais conflitos e impactos negativos relacionados a SAAIAF.
- Efeitos em cascata ou entre escalas: Em sua maioria, as variações no estado dos fatores não têm um efeito linear sobre o desempenho de SAAIAF. Esses efeitos podem ser incrementados pela inter-relação com outros fatores, e podem atingir impactos em outros níveis espaço-temporais. Por exemplo, uma certa intervenção física na paisagem pode causar uma pequena perturbação de certos processos biofísicos, que

pode resultar em uma perturbação desproporcional (ou insignificante) em um nível maior. Assim, os impactos e benefícios das intervenções relacionadas ao SAAIAF podem ser determinados para um nível local e regional, especialmente em bacia hidrográfica, mas considerando também limites administrativos como municipal, estadual e nacional.

- As incógnitas e a ambiguidade tanto no âmbito hidrológico como no social continuam desafiando o projeto e a gestão de sistemas hídricos adaptativos (SRINIVASA *et al.*, 2017). Essas incógnitas e ambiguidades exigem uma abordagem iterativa e contínua de “aprender a fazer” (NIKKELS *et al.*, 2020)

Os resultados obtidos apenas destacam alguns fatores identificados na literatura, relacionados à dimensão natural e humana, que de uma ou outra maneira podem influenciar e são influenciados pelo SAAIAF. Os resultados apresentados compilam e organizam fatores intervenientes sobre SAAIAF e discussões dispersas na literatura visando contribuir com a compreensão de SAAIAF de uma forma holística e multidisciplinar.

5.2 MODELO CONCEITUAL PARA CONTRIBUIR NA DEFINIÇÃO E AVALIAÇÃO DE SAAIAF

Neste capítulo apresenta-se o modelo conceitual desenvolvido. Inicialmente, são proporcionados e discutidos os indicadores do modelo conceitual que visam contribuir com a definição/avaliação da configuração de SAAIAF. Esses indicadores foram identificados na revisão de literatura e organizados nas categorias captação-irrigação (CAP-IRR), captação-reservação (CAP-RES) e reservação-irrigação (RES-IRR). Posteriormente, é apresentada a operacionalização desses indicadores, alocando variáveis que caracterizam os elementos das componentes captação (CAP), reservação (RES) e irrigação (IRR) e as relações que definem esses indicadores. Finalmente, discute-se sobre as implicações do modelo conceitual e de como pode contribuir com a definição/avaliação da configuração de SAAIAF.

5.2.1 Identificação e análise de Indicadores do modelo conceitual

Foram identificados 12 indicadores empregados na literatura para avaliar/planejar SAAIAF, ou sistemas semelhantes¹³. Esses indicadores foram categorizados segundo a natureza dos seus elementos em relação com as componentes CAP, RES e IRR, nas categorias: captação-irrigação (CAP-IRR), essa agrupa quatro indicadores que relacionam um ou mais elementos da componente CAP com um ou mais elementos da componente IRR; captação-reservação (CAP-RES), que agrupa quatro indicadores que relacionam um ou mais elementos da componente CAP com um ou mais elementos da componente RES; e reservação-irrigação (RES-IRR), a qual agrupa quatro indicadores que relacionam um ou mais elementos da componente RES com um ou mais elementos da componente IRR, como representado na Figura 2.

Nos próximos subitens detalham-se informações relevantes para o uso/interpretação desses indicadores para SAAIAF, por categorias.

5.2.1.1 Categoria Captação-Irrigação

Os indicadores que relacionam a componente captação-irrigação (CAP-IRR) ajudam a compreender a relação entre a disponibilidade hídrica da região para fins de armazenamento e a demanda hídrica dos sistemas de irrigação ali implementados. No entanto, eles podem ser empregados e compreendidos de forma diferenciada para o planejamento de SAAIAF, alguns dos seus usos e qualidades são descritos na sequência. Os indicadores identificados são apresentados no Quadro 3. Nesse quadro relaciona-se o símbolo do indicador, sua descrição e relevância com alguns valores de referência encontrados na literatura.

Quadro 3. Descrição da relevância e valores de referência dos indicadores da categoria CAP-IRR

Indicador	Descrição	Relevância (com valores de referência)
CCR	De <i>Catchment command ratio</i> , estabelece a	O CCR indica a área disponível para captação por unidade de área irrigada de um SAAIAF. Valores altos indicam que há maior potencial de captação de água para atender as demandas

¹³ Como os sistemas de armazenamento para uso doméstico (CAMPISANO, MODICA, 2012) ou sistemas de armazenamento de pequeno porte não específicos para agricultura (ERIYAGAMA *et al.*, 2020, 2021, 2022)

Quadro 3. Descrição da relevância e valores de referência dos indicadores da categoria CAP-IRR

Indicador	Descrição	Relevância (com valores de referência)
	Relação entre a área de captação e a área de irrigação	hídricas de irrigação. O CCR_{ideal} indica o valor mínimo de CCR que garante o atendimento de demandas de irrigação específicas de um sistema. Quando $CCR_{ideal} > CCR$ a região mostra deficiências para atender as demandas hídricas com o volume disponível para armazenamento.
CCR_{ideal}	Representa a área de captação necessária para suportar a demanda hídrica por área irrigada	Valores de referência do CCR: entre 1 e 5; valor ótimo 3 (SRIVASTAVA, 2001); entre 1 e 3 (MESHESHA; KHARE, 2019) até 60 (SHINDE; GORANTIWAR; SMOUT, 2004); 3 (HACHUM; MOHAMMAD, 2007); 5 (WISSER <i>et al.</i> , 2010).
SI	<i>Shortage Index</i> ou Índice de escassez	SI representa a relação entre a demanda e disponibilidade hídrica do sistema para um período de avaliação. Quando superior a 1, a região mostra deficiências para atender as demandas hídricas por meio do emprego de SAAIAF (ALBÁN, 2018). Valores de referência: 0,2-4 (CAMPISANO e MODICA, 2012); 0,8-0,9 (WIATKOWSKI <i>et al.</i> , 2021).
NDC	<i>Normal Deficit Cumulative</i> ou Déficit cumulativo normalizado	NDC indica a magnitude do estresse induzido pela dinâmica temporal entre a demanda e a disponibilidade, sendo que valores altos estão relacionados a déficit maiores (DEVINENI <i>et al.</i> , 2013). É obtido ao normalizar o déficit cumulativo pela disponibilidade hídrica de um sistema para um período de avaliação. Valores de referências: valores inferiores a 0,4 relacionados a pequenas estruturas e superiores a 0,5 relacionados a grandes estruturas (DEVINENI <i>et al.</i> , 2013).

Na sequência são apontadas algumas considerações sobre os indicadores e a sua aplicação.

- CCR coloca em evidência a pressão do uso da água para irrigação de um SAAIAF, de modo que valores baixos estão relacionados a regiões com alta pressão pelo uso da água para agricultura irrigada. O CCR tem sido empregado por vários autores para diferentes usos: Shinde; Gorantiwar e Smout (2004) utilizaram a relação CCR para comparar SAAIAF em diferentes sistemas e regiões da Índia; Srivastava (2001) utilizou o CCR para otimizar e simular diferentes configurações do armazenamento hídrico para uma realidade específica; e Wisser *et al.* (2010) estabeleceram um CCR para avaliar impactos de reservatórios a nível

global, ao não contar com informações sobre a área irrigada associada a reservatórios identificados via imagem satélite.

- O CCR_{ideal} é utilizado para dimensionar diferentes tipos de tecnologias para uma lavoura (MESHESHA; KHARE, 2019; VAN-WAMBEKE; PRIETO-CELI; VIEYRA, 2013). Adham *et al.* (2016b) utilizaram o CCR_{ideal} como um critério para avaliar diferentes tecnologias e locais para armazenar água em regiões semiáridas.
- SI foi empregado por Campisano e Modica (2012), nomeada como fração de demanda, a qual foi utilizada pelos autores como um parâmetro para determinar o desempenho regional de sistemas de armazenamento urbanos para uso doméstico; e por Wiatkowski *et al.* (2021), nomeada como indicador de compensação para avaliar a sustentabilidade de pequenos reservatórios.
- O NDC considera as dinâmicas temporais de disponibilidade e demanda hídricas do SAAIAF para um período avaliado em relação ao volume disponível no local para esse mesmo período. O NDC é proposto e empregado por Devineni *et al.* (2013) para contribuir com a tomada de decisão sobre o tipo de reservatórios recomendados (em função do tamanho) para diferentes estados da Índia.

Cabe destacar que Albán (2018) utilizou os indicadores CCR, CCR_{ideal} e SI para determinar a capacidade hídrica de reservação para uma bacia hidrográfica com uso preponderante de irrigação para agricultura familiar.

5.2.1.2 Categoria Captação-Reservação

Os indicadores que relacionam a componente captação-reservação (CAP-RES) ajudam a compreender a relação entre a disponibilidade hídrica da região para fins de armazenamento do SAAIAF. Desse modo, eles estão associados à capacidade de enchimento da estrutura de armazenamento da componente (RES) que se alimenta da água captada na componente captação (CAP). Cada um dos indicadores identificados pode ser empregado e compreendido de forma diferenciada para o planejamento de SAAIAF. Os indicadores são apresentados

no Quadro 4. Nesse quadro, se relaciona o símbolo do indicador, sua descrição e relevância com alguns valores de referência obtidos na literatura.

Quadro 4. Descrição da relevância e valores de referência dos indicadores da categoria CAP-RES

INDICADOR	DESCRIÇÃO	RELEVÂNCIA (COM VALORES DE REFERÊNCIA)
CSR	De <i>catchment storage ratio</i> estabelece a relação entre a área de captação e a área de reservação	CSR indica a área disponível para captação por unidade de área armazenada. Nesse sentido, valores altos de CSR estão atrelados a sistemas com maior disponibilidade para encher a infraestrutura de armazenamento, enquanto valores de CSR baixos podem não garantir o enchimento da estrutura. Valores de referência: entre 10 e 100 (SHINDE; GORANTIWAR; SMOUT, 2004); entre 20 e 200 (HABETS <i>et al.</i> , 2014).
CSCR	De <i>catchment storage capacity ratio</i> estabelece a relação entre a área de captação e a capacidade de armazenamento	O CSCR estabelece a proporção entre a área de captação e a capacidade volumétrica de uma estrutura para armazenar água. Da mesma forma que CSR, valores altos de CSCR podem indicar maior disponibilidade hídrica para enchimento de tecnologias de armazenamento. O valor inverso desse indicador pode estar relacionado com a densidade volumétrica de armazenamento por unidade de área em uma região. Valores de referência: de 4 a 100 m ⁻¹ (MARÍN, SCHNABEL; PULIDO, 2020).
FV	Fração de volume	FV estabelece a relação entre a capacidade de armazenamento e o volume disponível. Valores altos mostram dificuldades para atendimento dessa capacidade e maiores impactos negativos. Espera-se que pequenas barragens possuam valores baixos. Valores de referência: entre 0,2 e 2 anos (VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008); 1-3,5 (CAMPOS, 2010); 0,01-0,08 (WIATKOWSKI <i>et al.</i> , 2021), 1-5 anos (BRASIL; MEDEIROS, 2019); 0,05-1 (ERIYAGAMA <i>et al.</i> , 2022).
MRRI	De <i>Modified River Regulation index</i> estabelece o grau de distribuição da regularização	MRRI mede o grau em que a capacidade de regularização de um SAAIAF está distribuída em uma bacia hidrográfica. O indicador contém um fator de capacidade do sistema e outro de distribuição (ou distância em relação à rede de drenagem). Valores inferiores estão atrelados a pequenos reservatórios ou configurações distribuídas, já valores altos relacionam-se a grandes estruturas com abordagens concentradas. Valores de referência: Os valores de MRRI costumam variar entre 0 e 1, ainda que possam ser superiores a 1 (ERIYAGAMA, 2022).

Na sequência são apontadas algumas considerações sobre os indicadores e a sua aplicação

- Sobre a aplicação do CSR identificou-se que foi utilizado como indicador para comparar sistemas de armazenamento existentes em diversas regiões da Índia (SHINDE; GORANTIWARE; SMOUT, 2004). Já Habets *et al.* (2014) utilizaram-lhe como um parâmetro, *dam fraction*, para simular o desempenho de diferentes tamanhos de reservatórios em sub-região e bacia hidrográfica no oeste da França.
- Sobre a aplicação do CSCR, Marin, Schanabel e Pulido (2020) aplicaram o indicador no Sudeste da Península Ibérica, para reservatórios em anos secos e anos úmidos, para avaliar seu desempenho hidrológico.
- FV também é chamado de tempo de residência por Van Der Zaag e Gupta (2008) ou grau de regularização por Eriyagama; Smakhtin; Udamulla, (2022). Van Der Zaag e Gupta (2008) entendem FV como sendo o tempo que a água é armazenada no reservatório. Se FV for maior do que 1 ano, se espera que o reservatório regule fluxos interanuais e não apenas sazonais, que está relacionado com dimensões e magnitudes de impactos de grandes estruturas. Já Campos (2010) usou o FV como entrada das curvas S-Y-R (do inglês *Storage-Yield-Reliability*) para obter informações sobre a partição de fluxos de estruturas de armazenamento hídrico. Eriyagama; Smakhtin e Udamulla (2021, 2022) definiram diferentes valores de FV como porcentagem da disponibilidade hídrica, para simular cenários e estudar limites físicos e impactos de configurações de sistemas de armazenamento para diferentes distribuições.
- MRRI permite medir o grau de distribuição de diferentes configurações de SAAIAF com base no número, capacidade e localização de estruturas de armazenamento em uma bacia hidrográfica Eriyagama; Smakhtin e Udamulla (2021, 2022).

Cabe destacar que Eriyagama; Smakhtin e Udamulla (2021, 2022) utilizaram os indicadores FV e MRRI para simular cenários com diferentes capacidades de regularização e avaliar a distribuição de diferentes configurações em ordem de responder qual é a alternativa mais sustentável para uma bacia hidrográfica, em base as características hidrológicas do local.

5.2.1.3 Categoria Reservação-Irrigação

Os indicadores que relacionam a componente reservação-irrigação (RES-IRR) ajudam a compreender a relação entre a capacidade de armazenamento do SAAIAF para atendimento da área de irrigação associada a ele. Sobre a categoria RES-IRR, entende-se que as relações dependem mais das componentes técnicas de sistemas humanos relacionados com a irrigação e o armazenamento. Cada um dos indicadores identificados pode ser empregado e compreendido de forma diferenciada para o planejamento de SAAIAF. Os indicadores são apresentados no Quadro 5. Nesse quadro, relaciona-se o símbolo do indicador, sua descrição e relevância com alguns valores de referência obtidos na literatura.

Quadro 5. Descrição da relevância e valores de referência dos indicadores da categoria RES-IRR

Ind.	DESCRIÇÃO	RELEVÂNCIA (COM VALORES DE REFERÊNCIA)
SCR	De <i>Storage Comand Ratio</i> determina a relação entre a área de reservação e a área de irrigação	SCR quantifica a proporção entre a área da estrutura de armazenamento e área irrigada para um SAAIAF. Nesse sentido, valores altos estão atrelados a capacidades de armazenamento com maior potencial para atender as demandas de irrigação e vice-versa. Valores de referência: 0,12 – 2,7 (SHINDE; GORANTIWAR; SMOUT, 2004); 0,06-0,08 (RODRIGUEZ apud VICO; TAMBURINO; ROBERT, 2020)
W [L]	De <i>Water Provision Capacity</i> capacidade de atendimento para irrigação	W relaciona a capacidade de armazenamento com a área de irrigação. Valores altos indicam sistemas com maior capacidade de atender as demandas de irrigação e vice-versa. Valores de referência: valores de 0,1 a 0,2 m relacionados a irrigação suplementar; entre 0,8 a 1,2 m são típicos para irrigação convencional em grande escala durante a estação seca (VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008).
AIRR _{ideal} [L ²]	É a área de irrigação que pode ser atendida por uma capacidade de armazenamento.	AIRR _{ideal} relaciona a capacidade de armazenamento com a lâmina de irrigação requerida pelas culturas de um local. Esse indicador depende da capacidade de armazenamento e dos requerimentos hídricos das culturas. Valores altos indicam maior potencial de atendimento para uma realidade hidro-agroclimática específica e vice-versa. Srivastava (2001) considera que a relação pode ajudar a localizar estruturas para suprir irrigação em uma região.

Quadro 5. Descrição da relevância e valores de referência dos indicadores da categoria RES-IRR

Ind.	DESCRIÇÃO	RELEVÂNCIA (COM VALORES DE REFERÊNCIA)
FS	Fração de armazenamento.	FS indica a relação entre a capacidade de armazenamento e o volume demandado para irrigação. Quanto maior o valor, maior a capacidade de armazenamento para uma dada demanda hídrica. Valores inferiores a 1 apresentam déficit hídrico para atendimento das demandas hídricas para a capacidade do sistema de armazenamento. Valores de referência: de 0,05 a 40,0 (CAMPISANO; MODICA, 2012); entre 10 e 80 (WIATKOWSKI <i>et al.</i> , 2021)

Na sequência são explicitadas algumas considerações relevantes sobre os indicadores identificados na categoria RES-IRR.

- Shinde, Gorantiware e Smout (2004) utilizaram o SCR para comparar sistemas de armazenamento em diversas regiões da Índia. Já Vico, Tamburino e Robert (2020) utilizaram o parâmetro A_c (*cultivated fraction*) para determinar qual deve ser o tamanho da estrutura de armazenamento mais apropriada para umas condições climáticas e edáficas específicas, obtendo uma relação AIRR-ARES de 11,5 para a bacia do baixo Mississippi (equivalente a $SCR=0,09$).
- Van Der Zaag e Gupta (2008) utilizaram W como um indicador biofísico de sustentabilidade para auxiliar a tomada de decisão sobre sistemas de armazenamento concentrados e distribuídos. Segundo esses autores, quanto maior W maior será a perturbação do regime de fluxo natural e maior o impacto ecológico associado ao SAAIAF. O valor inverso de W pode servir para planejar a área a ser irrigada para uma capacidade de armazenamento em um regime hidrológico específico (RUFIN *et al.*, 2018).
- Srivastava (2001) utilizou a $AIRR_{ideal}$ como parâmetro de dimensionamento, para decidir o local onde seria localizado o reservatório. Além disso, $AIRR_{ideal}$ pode indicar se a área da componente irrigação de SAAIF pode ser expandida ou deve ser reduzida em função dos requerimentos hídricos das culturas e da capacidade de armazenamento existente. Pode ser entendido como um indicador de

déficit; por exemplo: se $AIRR_{ideal}$ é menor do que a área de irrigação do sistema, então o sistema apresenta déficit hídrico para atendimento das demandas em função da capacidade de armazenamento.

- FS é compreendida como *modified storage fraction* por Campisano e Modica (2012), que utilizaram o indicador - ajustado por um fator que mede a variabilidade intra-anual das chuvas em função do número de dias de chuva de um ano hidrológico- como alternativa de FV (da categoria CAP-RES) e do SI (da categoria CAP-IRR) para considerar a sazonalidade em sistemas de captação de água de chuvas para uso doméstico. Wiatkowski *et al.* (2021) reconheceram FS como eficiência ou E, que equivale a SI dividido pelo FV.

5.2.2 Operacionalização dos indicadores do modelo conceitual

Visando operacionalizar os indicadores identificados e discutidos na seção 5.2.1, foram alocadas variáveis para representar quantitativamente os indicadores. O resultado é apresentado para a categoria Captação-Irrigação (CAP-IRR), Captação-Reservação (CAP-RES) e Reservação-Irrigação (RES-IRR). A representação do modelo conceitual, com as variáveis que caracterizam os elementos de cada componente e as relações entre as mesmas que definem as categorias dos indicadores.

5.2.2.1 Categoria Captação-Irrigação

Para a operacionalização dos indicadores da categoria captação-irrigação (CAP-IRR), foram definidas equações que representam cada indicador com variáveis que caracterizam atributos das componentes captação (CAP) e irrigação (IRR), sendo elas: as áreas das componentes CAP e IRR (ACAP e AIRR); a lâmina de escoamento da superfície da componente CAP (Q); a lâmina de demanda hídrica das culturas da componente IRR (LI); o volume disponível para armazenamento (DISP); o volume demandado para irrigação da componente IRR (DEM); e o número de intervalos de tempo para executar o balanço hídrico do SAAIAF (n). A operacionalização é apresentada no Quadro 6, onde são relacionados o símbolo de indicador (ver Quadro 3), a equação que explicita a relação entre

elementos das componentes CAP e IRR, e a descrição das variáveis empregadas na equação.

Quadro 6. Operacionalização dos indicadores da categoria CAP-IRR.

Símbolo	Equação	Notas
CCR	ACAP/AIRR	ACAP é área de captação [m ²] AIRR é área de irrigação [m ²]
CCR _{ideal}	LI/Q	LI é lâmina de irrigação das culturas [mm] Q é a lâmina de escoamento [mm]
SI	DEM/DISP	DEM é o volume demandado para irrigação [m ³] DISP é o volume disponível para captação [m ³]
NDC	$\frac{\sum (DEM_i - DISP_i; DEM_i - DISP_i > 0)}{DISP}$ (i de 1 até n)	DEM _i e DISP _i [m ³] são a demanda e a disponibilidade para o intervalo de tempo i, respectivamente. O resultado equivale ao déficit cumulativo no período de avaliação normalizado pela disponibilidade total do sistema (sendo que o período de avaliação contém “n” intervalos de tempo)

As variáveis alocadas para a operacionalização dos indicadores da categoria CAP-IRR estão associadas às características hidro-agroclimáticas do modelo, que influenciam na determinação dos fluxos de entrada e saída do SAAIAF. Essas variáveis podem mudar com o tempo e o espaço, em função de sua natureza. Na sequência, apresentam-se comentários sobre cada uma das variáveis associadas aos indicadores desta categoria.

- ACAP usualmente é constante no tempo, função da localização da estrutura e da morfologia da bacia ou da superfície impermeável alocada ao SAAIAF. Com frequência, a variável varia espacialmente em função das características do terreno e da localização da estrutura, especialmente para estruturas escavadas como barragens, tanques e barraginha. Para estruturas pre-dimensionadas, como as cisternas, ACAP é constante para uma capacidade e condições pluviométricas específicas. ACAP não varia com o tempo, exceto caso esteja relacionada às condições de operação do SAAIAF como o uso coletivo de reservatórios em cascada (ver caso de ZAKARIA *et al.*, 2013).

- AIRR geralmente varia espacialmente em função do tipo, uso e ocupação do solo do local, que pode ter tendências de região para região em função do uso do solo e/ou de adoção de práticas de manejo. A variação temporal da área de irrigação também pode ser explicada em função do regime de precipitação e sua dinâmica com a umidade do solo, dos tipos de culturas e do seu ciclo vegetativo e de práticas de manejo relacionadas (VICO; TAMBURINO; ROBERT, 2020).
- LI é uma variável agrológica que depende das especificidades hídricas das culturas, do tipo e estado do solo, do clima, do regime de precipitação e do cronograma de plantio. Essa variável é suscetível a mudanças importantes na escala espaço-temporal, relacionada tanto a fatores naturais como a decisões humanas sobre o sistema de irrigação. Usualmente é empregado o método da FAO para determinar essa variável, que considera as condições climáticas, as demandas específicas das culturas e o regime de precipitação do local (DEVINENI *et al.*, 2013; TIGABU *et al.*, 2019).
- Q por ser uma variável hidrológica, depende da variação temporal do regime pluviométrico de uma região, que pode ser sazonal ou interanual. Por ser uma variável temporal podem ser requeridas análises estatísticas para a sua determinação. Podem ser necessárias informações relacionadas a Q em intervalos de tempo inferior a um ano hidrológico, em função do objetivo e a precisão desejada para as análises.
- DEM refere-se ao volume demandado pelo sistema de irrigação, que é função da lâmina de irrigação (LI) e da área irrigada (AIRR). Também pode ser influenciado pela eficiência do sistema de irrigação e por perdas no transporte de água do reservatório até o local de irrigação. Nesse sentido, sua variação temporal e espacial está associada a fatores já mencionados para AIRR e LI.
- DISP refere-se ao volume disponível para armazenamento, que está em função da lâmina de escoamento (Q) e da área de captação (ACAP). Nesse sentido, sua variação temporal está associada especialmente ao

regime de precipitação; e sua variação espacial com à capacidade da superfície de produzir escoamento em função de um evento de chuva.

Sobre os indicadores da categoria CAP-IRR, destaca-se que CCR, CCR_{ideal} e SI costumam ser empregados para um período de avaliação anual. No entanto, NDC já foi empregado de forma intra-anual e interanual para avaliar o tipo de armazenamento mais apropriado em diferentes estados da Índia (DEVINENI *et al.*, 2013), demonstrando sua flexibilidade para avaliar a variabilidade temporal das chuvas relacionadas a sazonalidade e a mudanças climáticas. Destaca-se que CCR e CCR_{ideal} permitem avaliar o desempenho em função de características hidro-agroclimáticas (relacionadas a Q e LI) e de sua espacialização (relacionadas a ACAP e AIRR). Enquanto SI e NDC relacionam-se aos volumes DISP e DEM, os quais dependem das características das componentes captação (ACAP e Q) e irrigação (LI e DEM), respectivamente. Por isso pode se entender que SI e NDC contém informação mais global sobre o déficit do sistema. Enquanto e CCR e CCR_{ideal} explicam com mais detalhe se o déficit está relacionado a sua espacialização, ou as condições do local. Destaca-se que a comparação entre o CCR e o CCR_{ideal} também pode ser uma medida do déficit hídrico do SAAIA.

Os indicadores podem ser examinados em diferentes níveis de agregação temporal (por exemplo, diário, sazonal ou anual) ou espacial (propriedade, bacia hidrográfica, estado).

5.2.2.2 Categoria Captação-Reservação

Para a operacionalização dos indicadores da categoria captação-reservação (CAP-RES), foram definidas equações que representam cada indicador com variáveis que caracterizam atributos das componentes captação (CAP) e reservação (RES), sendo elas: as áreas das componentes CAP e RES (ACAP e ARES), a capacidade de armazenamento da estrutura da componente RES (S), o volume disponível para armazenamento (DISP) e o número de estruturas de armazenamento relacionado à configuração de SAAIAF. A operacionalização é apresentada no Quadro 7, onde se relaciona o símbolo do indicador (ver Quadro 4), a equação que explicita a relação entre elementos das componentes CAP e RES, e a descrição das variáveis empregadas na equação.

Quadro 7. Operacionalização dos indicadores da categoria CAP-RES.

Símbolo	Equação	Notas
CSR	ACAP/ARES	ACAP é Área de captação [m ²] ARES é Área de reservação [m ²]
CSCR	ACAP/S	S capacidade de armazenamento [m ³]
FV	S/DISP	DISP é o volume disponível para captação [m ³]
MRRRI	$\sum ((S_i/DISP) * (DISP_i/DISP))$ (i de 1 até m)	S _i é a capacidade da estrutura de armazenamento i, sendo “n” o número de estruturas que compõem o sistema.

As variáveis alocadas para a operacionalização dos indicadores CAP-RES estão associadas ao balanço hídrico do reservatório, especificamente aquelas que influenciam na determinação dos fluxos de entrada do SAAIAF e a capacidade e geometria da(s) estrutura(s) de armazenamento associada ao sistema. Essas variáveis podem mudar em função do tempo e o espaço. Na sequência se apresentam comentários sobre cada uma das variáveis associadas aos indicadores desta categoria.

- ACAP, como já mencionado no item 5.2.2.1, é normalmente constante no tempo, em função da localização da estrutura e da morfologia da bacia, ou da superfície impermeável alocada ao SAAIAF. Além do descrito no 5.2.2.1 Para tecnologias que utilizam área de captação impermeável, como o teto para cisternas, a área de captação pode aumentar em função de ações dos usuários por ampliar ou conectar outras superfícies impermeáveis. Essas possíveis mudanças estão em função de decisões dos usuários ou de outros atores do sistema e não da variabilidade associada a fatores naturais.
- ARES está associada à geometria do reservatório e às suas dinâmicas de fluxo (entradas e saídas). Quando utilizada por alguns autores, reflete a área de armazenamento captada por imagens de satélites (RUFIN *et al.* 2018, WISSER *et al.*, 2010), de modo que geralmente é usada como uma avaliação pontual no tempo. Enquanto outros autores, como Marín, Schnabel e Pulido (2020), consideraram ARES como uma variável que muda com o tempo.

- S está associada à área de drenagem e às dimensões da estrutura de armazenamento. Sendo que estruturas de armazenamento de grande porte estão associadas a áreas de captação extensas e a maiores capacidades de armazenamento. S pode ser determinada de forma pontual no tempo, associado à capacidade máxima da estrutura de armazenamento, definida pela geometria e suas dimensões. Quando S é interpretada como a capacidade efetivamente armazenada em um intervalo de tempo, varia ao longo do ano hidrológico e entre anos. Quando a capacidade de armazenamento efetiva é inferior à capacidade física das estruturas de armazenamento, se pode interpretar que as estruturas são subutilizadas. No entanto, pode acontecer que, em função do tamanho da estrutura e do regime hidrológico, a capacidade efetiva seja superior à capacidade física da estrutura¹⁴.
- DISP refere-se ao volume disponível para armazenamento, que está em função da área de captação (ACAP) e das características hidrológicas da componente CAP. Suas variações espacial e temporal dependem do regime de precipitação e de características da bacia como declividade, e tipo, uso e cobertura do solo.

Os indicadores CRS, CSCR e FV são empregados comumente para avaliar o desempenho das unidades de armazenamento em relação à hidrologia do local, relacionando elementos associados à entrada de água no sistema (com as variáveis ACAP e DISP) e a capacidade da estrutura de armazenamento (com as variáveis S e ARES). Enquanto CSR e CSCR utilizam ACAP para caracterizar as entradas, FV utiliza DISP, sendo ele mais adequado para analisar as condições hidrológicas do local. Geralmente, os indicadores são empregados para estruturas individuais, com exceção de FV, que foi aplicado por Eriyagama *et al.* (2022) para avaliar configurações de barragens de diversas distribuições em bacia hidrográfica, normalizando o valor do indicador pela capacidade global de armazenamento do sistema. Já o indicador MRRI, que mede o grau de distribuição de diferentes configurações em uma bacia, é sensível à localização

¹⁴ Essa situação acontece com estruturas de pequeno porte como barraginhas, que são recarregadas várias vezes em um ano hidrológico, por exemplo.

das estruturas de armazenamento (em relação à rede de drenagem) e ao número e capacidade delas (ERIYAGAMA *et al.*, 2022).

Os indicadores podem ser analisados para diferentes anos hidrológicos e para estruturas individuais, ainda que existam aplicações que agregam as características das mesmas para dar resultados globais em bacia ou sub-região hidrográfica (ERIYAGAMA *et al.*, 2022; HABETS *et al.*, 2014; VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008). O grupo de indicadores é relevante para avaliar a configuração de SAAIAF já que traz informações sobre a capacidade de armazenamento e a localização e distribuição da(s) estrutura(s) de armazenamento em relação a rede de drenagem. Para a sua aplicação são requeridas informações hidrológicas e técnicas associadas à capacidade da estrutura de armazenamento.

5.2.2.3 Categoria Reservação-Irrigação

Para a operacionalização dos indicadores da categoria reservação-irrigação (RES-IRR), foram definidas equações que representam cada indicador com variáveis que caracterizam atributos das componentes reservação (RES) e irrigação (IRR), sendo elas: as áreas das componentes RES e IRR (ARES e AIRR), a capacidade de armazenamento da estrutura da componente RES (S), o volume de água demandado pela componente IRR. A operacionalização é apresentada no Quadro 8, onde são relacionados o símbolo do indicador (ver Quadro 5), a equação que explicita a relação entre elementos das componentes RES e IRR, e a descrição das variáveis empregadas na equação.

Quadro 8. Operacionalização dos indicadores da categoria RES-IRR.

Símbolo	Equação	Notas
SCR	ARES/AIRR	ARES é Área de reservação [m ²] AIRR é Área de irrigação [m ²]
W	S/AIRR	S capacidade de armazenamento [m ³]
FS	S/DEM	DEM é o volume demandado para irrigação [m ³]
AIRR _{ideal}	S/LI	LI é Lâmina de irrigação das culturas [mm]

As variáveis alocadas para a operacionalização dos indicadores CAP-RES estão associadas ao balanço hídrico do reservatório, especificamente aquelas que

influenciam na determinação dos fluxos de saída do SAAIAF e a capacidade e geometria da(s) estrutura(s) de armazenamento associada ao sistema. Essas variáveis podem ser alteradas em função do tempo e do espaço, segundo a sua natureza. Na sequência apresentam-se comentários sobre cada uma das variáveis associadas aos indicadores desta categoria.

- ARES está associada à geometria do reservatório e às suas dinâmicas de disponibilidade e demanda hídrica. Cabe destacar que as dimensões das estruturas são geralmente consideradas constantes, mas também podem variar com o tempo, entre elas ARES. Por exemplo, ARES é mais constante em tecnologias cimentadas como tanques e cisternas que não estão conectadas diretamente ao curso hídrico, enquanto estruturas escavadas como barragens e barraginhas podem variar com o tempo as suas dimensões em função da acumulação de sedimentos.
- AIRR geralmente varia espacialmente em função do uso e ocupação do solo do local e da adoção de práticas de manejo na agricultura. AIRR pode variar no tempo em função de práticas de irrigação relacionadas, por exemplo, ao cronograma de plantio e a medidas para mitigação de eventos extremos, relacionadas a medidas de gerenciamento da água na irrigação.
- S pode ser planejada para atender demandas hídricas específicas, de modo que em muitas ocasiões depende de DEM. O valor de S está associado também ao tipo e as dimensões da tecnologia. Geralmente em simulações S é entendida como a capacidade máxima de armazenamento da estrutura, a qual é constante no tempo. No entanto, S pode ser entendido como o volume armazenado e varia em função das dinâmicas temporais entre a demanda e a disponibilidade hídrica do sistema.
- DEM refere-se ao volume demandado pelo sistema de irrigação, influenciado pela demanda específica das culturas, por elementos naturais associados ao clima e ao solo, e pela eficiência do sistema de irrigação e transporte de água. Nesse sentido, sua variação temporal está mais associada à frequência de irrigação e a outros fatores com

características temporais relacionadas ao clima, e sua variação espacial depende mais da distribuição espacial da área irrigada e de suas características, como por exemplo, o tipo de cultura.

- LI, como já mencionado no item 5.2.2.1, é uma variável agrológica que depende das especificidades hídricas das culturas, do tipo e estado do solo, do clima, do regime de precipitação e do cronograma de plantio. Essa variável é suscetível a mudanças importantes na escala espaço temporal, relacionada tanto a fatores naturais como a decisões humanas sobre o sistema de irrigação.

Os indicadores SCR, W e FS são empregados para avaliar o potencial de atendimento das demandas hídricas de irrigação com a água reservada no SAAIAF, relacionando elementos da demanda hídrica (com as variáveis AIRR e DEM) com a capacidade da estrutura de armazenamento (com as variáveis S e ARES). Enquanto SCR e W utilizam AIRR para caracterizar as demandas, o FS utiliza a DEM, sendo FS mais adequado para analisar as condições agroclimáticas do local. Por outro lado, o indicador $AIRR_{ideal}$ pode ser utilizado para alocar a área de irrigação de um reservatório específico, como proposto por RUFIN *et al.*, (2018), ou para quantificar a porcentagem da área irrigada com potencial de ser atendida por uma capacidade de armazenamento específica¹⁵. Essa informação pode ser útil para uso coletivo de sistemas de armazenamento, como proposto para os SAAIAF.

Os indicadores em geral são aplicados para estruturas individuais, mas podem ser aplicados em diferentes níveis de agregação, permitindo avaliar a capacidade de atendimento das demandas de duas unidades de armazenamento para uma área de irrigação, ou uma unidade de armazenamento para duas áreas de irrigação. Para aplicar os indicadores é necessário definir aspectos relacionados às características agroclimáticas relacionadas a demanda hídrica de irrigação, e técnicas relacionadas a capacidade da estrutura de armazenamento do sistema.

¹⁵ Se $AIRR_{ideal}$ for menor do que a área irrigada no sistema, se indica déficit hídrico para atendimento das demandas.

5.2.3 *Discussões gerais*

O modelo caracteriza elementos das componentes captações (CAP), reservação (RES) e irrigação (IRR) com variáveis necessárias para determinar os valores dos indicadores propostos nas categorias captação-irrigação (CAP-IRR), captação-reservação (CAP-RES) e reservação-irrigação (RES-IRR). O modelo considera que o desempenho de SAAIAF depende da sua relação com as entradas e saídas dos fluxos hídricos do sistema, e das características relacionadas com a estrutura de armazenamento. Sendo que: 1. a entrada do fluxo hídrico, ou disponibilidade hídrica do sistema, está relacionada à produção de escoamento na superfície da componente CAP; 2. a saída do fluxo hídrico, ou demanda hídrica do sistema, está relacionada à demanda de irrigação na superfície da componente IRR; e 3. A estrutura de armazenamento possui uma capacidade em função de suas dimensões e características, que em função das dinâmicas entre as entradas e saídas, armazena água para aumentar a disponibilidade de água para irrigação.

Essa estrutura conceitual consegue abstrair características e processos relacionados ao balanço hídrico de cada uma das componentes, e considera que relações entre elementos de diferentes componentes são indicadores com potencial de avaliar o desempenho do SAAIAF. Essa estrutura serve para abordar a definição e avaliação da configuração de SAAIAF, pois ao abstrair as características e os processos relacionados ao balanço hídrico nas componentes CAP, RES e IRR; reduz a complexidade relacionada ao assunto e permite abordar desde diferentes perspectivas o planejamento e avaliação do sistema em função do objetivo desejado e das informações disponíveis. Na sequência destacam-se alguns exemplos do seu potencial:

- Se o objetivo de planejamento busca avaliar o potencial de um local de armazenamento, recomenda-se utilizar os indicadores da categoria CAP-IRR, que requerem apenas informações hidro-agroclimáticas do local, como aplicado em Albán (2018).
- Se o objetivo for avaliar a eficiência de enchimento de uma estrutura de armazenamento, ou avaliar os impactos do armazenamento sobre os

recursos hídricos, recomenda-se utilizar os indicadores da categoria CAP-RES, como proposto por Eriyagama *et al.* (2021) e Habets *et al.* (2014).

- Se o objetivo for avaliar a eficiência de uma estrutura/sistema de armazenamento para suprir as demandas hídricas de irrigação em períodos de estiagem, ou avaliar qual a área irrigada possível de atendimento para uma estrutura, recomenda-se utilizar os indicadores da categoria RES-IRR, como abordado parcialmente em Srivastava (2001).

Sobre isso identifica-se que alguns modelos, ainda que não explicitamente, consideram essas três abordagens para compreender, definir ou avaliar o desempenho de SAAIAF. Shinde; Gorantiwar e Smout (2004), utilizaram as relações entre as áreas das componentes CAP, RES e IRR para comparar diferentes sistemas de armazenamento de diferentes regiões na Índia, empregando os indicadores CCR (da categoria CAP-IRR), CSR (da categoria CAP-RES) e SCR (da categoria RES-IRR). Os autores mostraram que os valores divergem consideravelmente entre sistemas e entre regiões, sinalizando a importância de estudar o porquê das divergências para aprimorar os processos de avaliação e planejamento de SAAIAF. Campisano e Modica (2012) utilizaram uma versão ajustada de FS (da categoria RES-IRR) como alternativa a indicadores comumente empregados, SI (da categoria CAP-IRR) e FV (da categoria CAP-RES), para contribuir com o dimensionamento regional de sistemas de armazenamento urbano para uso doméstico. Já Wiatkowski *et al.* (2021), utilizaram os indicadores FV, SI e FS para avaliar o desempenho hidrológico de pequenos sistemas de armazenamento.

A estrutura do modelo conceitual também permite abordar desafios conexos à complexidade de fenômenos socio-hidrológicos relacionados ao SAAIAF, pois sua representação com variáveis oferece flexibilidade para considerar a variabilidade espacial e temporal característica desses fenômenos. Além disso, o modelo permite abordar, de forma simplificada, os efeitos cumulativos de várias estruturas de armazenamento de água em uma região, agregando as características individuais das componentes captação, irrigação e reservação de cada estrutura para um cenário global.

Destaca-se também que alguns dos indicadores do modelo abordam elementos relacionados à configuração de SAAIAF, como: a capacidade de armazenamento das estruturas, o número e a localização das unidades de armazenamento. Nesse sentido, é possível avaliar esses aspectos por meio da aplicação dos indicadores e comparar o resultado com valores de referência. Também pode ser útil para contribuir com o planejamento integrado de estruturas de armazenamento em escala regional ao comparar diferentes configurações em função da distribuição ou densidades das suas estruturas, e interpretar os resultados dos indicadores para cada configuração.

Os indicadores permitem também analisar a influência de outros aspectos (além dos diretamente relacionados ao balanço hídrico) relacionados ao desempenho e, portanto, à definição/avaliação de configuração de SAAIAF (ver item 5.1). Por exemplo, as variáveis LI e DEM estão associadas ao tipo de cultura, que por sua vez está associada à renda e subsistência das famílias, as condições do mercado, a hábitos e práticas das comunidades, e a práticas de manejo e conservação da água e do solo. Nesse sentido, os indicadores podem considerar diferentes fatores, além dos relacionados ao balanço hídrico, que também influenciam, como já discutido no item 5.1, no desempenho de SAAIAF e, portanto, na definição/avaliação de sua configuração. Isso, principalmente, mediante a proposição de cenários nos quais variam essas condições, para a posterior avaliação dos indicadores.

A sistematização e conceitualização de variáveis, indicadores e valores de referência já empregados na literatura, explícitas no modelo conceitual desenvolvido, têm potencial de auxiliar o processo de planejamento integrado e de avaliação de SAAIAF em regiões com diferentes características hidro-agroclimáticas e/ou para diferentes tecnologias. No entanto, identificam-se algumas adaptações/contribuições que não são consideradas no modelo conceitual, mas que podem contribuir com o propósito.

- A compreensão de faixas de valores dos indicadores, com base em experiências bem sucedidas, que permitam avaliar se uma dada configuração de SAAIAF é apropriada (ou mais apropriada) para um conjunto de alternativas.

- Ferramental metodológico que integre as informações das três categorias: CAP-IRR, CAP-RES, RES-IRR. Assim como também métodos que permitam avaliar de forma mais detalhada o balanço hídrico de cada componente para serem considerados os fluxos de infiltração, evaporação, perdas por transporte e precipitação sobre a lâmina do reservatório. Do mesmo modo, a consideração de fenômenos relacionados à erosão na captação e sedimentação nas estruturas, e relações entre as estruturas com aumento da umidade do solo e recarga de aquíferos que aumentam a disponibilidade hídrica para irrigação.
- A aplicação em conjunto com outras metodologias já existentes para o planejamento, como mapas de *suitability* de tecnologias, análises custo-benefício e metodologias de análises multicritério ou abordagens multicritério (discutidas no item 3.5), pode contribuir de forma mais apropriada e holística para o planejamento de SAAIF.
- A exploração de outros indicadores que avaliem o desempenho de SAAIAF de outra perspectiva que não seja a do balanço hídrico. Por exemplo, adequar o indicador de Equidade empregado por Van der Zaag e Gupta (2008) e Eriyagama *et al.* (2020,2022) à lógica proposta pelo modelo (de relacionar elementos das componentes CAP-RES-IRR¹⁶). Ou propor outras relações com essa lógica, como por exemplo: a razão entre custos de irrigação e custos de reservação, que ajudem a avaliar outros impactos além dos do balanço hídrico.
- A exploração de avaliar efeitos relacionados com a localização a montante e a jusante da estrutura de armazenamento em relação ao SAAIAF, e em relação à bacia.

¹⁶ O indicador de equidade relaciona os atores beneficiados, dos atores totais do sistema. Para uma adequação desse indicador pode-se pensar em alocar por exemplo os atores beneficiados a componente irrigação, e os atores afetados a componente captação; considerando a espacialização das tecnologias e os efeitos a montante e a jusante.

5.3 AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL PARA SAAIAF NA BACIA EXPERIMENTAL DO CÓRREGO SOSSEGO

Apresentam-se os resultados dos testes do modelo conceitual desenvolvido com as informações da bacia experimental do Córrego Sossego, sendo esses: 1. Teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF, e 2. Teste para diferentes tecnologias. Para ambos os testes se apresenta a caracterização das variáveis e os resultados dos indicadores das componentes CAP, RES e IRR.

5.3.1 Teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF

Os valores das variáveis das componentes captação (CAP) reservação (RES) e irrigação (IRR) para o teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF, são apresentados na Tabela 1, as quais foram tomadas e/ou ajustadas do trabalho de Albán (2018) e podem ser consultados no **Apêndice A** para a componente CAP e IRR. Para a componente RES os valores são os resultantes das simplificações explicadas na metodologia, sobre a distribuição e a geometria de pequenas estruturas de armazenamento.

Tabela 1. Caracterização das variáveis da componente CAP RES e IRR para o teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF.

Com.	Variável (unid.)	Valor
CAP	ACAP (ha)	4988
	Q (mm)	104
	DISP (10^6 m ³ /ano)	5,2
IRR	AIRR (ha)	1231
	Li (mm)	664
	DEM (10^6 m ³ /ano)	8,2
RES	ARES (ha)	980
	S (10^6 m ³)	6,53
	H (m)	2

Fonte: Os valores das variáveis das componentes CAP, IRR e do S da componente RES foram obtidos de Albán (2018).

5.2.1.1 Categoria Captação-Irrigação (CAP-IRR)

Os resultados dos indicadores da categoria CAP-IRR são apresentados na Tabela 2. Os indicadores indicam alta pressão pelas demandas hídricas de irrigação na bacia e, portanto, déficit hídrico para atendimento das demandas por SAAIAF. Isso porque o valor de CCR_{ideal} (=6,4) é superior ao CCR de (=4), e os indicados SI e NDC que superam o valor de 1.

Tabela 2. Valores dos Indicadores da categoria CAP-IRR para o teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF

Indicador	Valor
CCR	4
CCR_{ideal}	6,4
SI	1,56
NDC	1,2

Fonte: Própria.

Sobre os resultados do teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF para a categoria CAP-IRR, destaca-se:

- O valor obtido de CCR (=4), indica que 20% da bacia se encontra ocupada por sistemas de irrigação próprios da agricultura familiar. O valor do indicador se encontra na faixa de valores de referência identificados na literatura (ver Quadro 3), porém entre os valores baixos. O CCR obtido no teste é semelhante ao valor identificado como apropriado por Srivastava (2001) e por Hachum e Mohammad (2007), o qual equivale a 3. Srivastava (2001) encontra esse valor para irrigação de culturas temporárias no Sudeste da Índia, como o valor mínimo para suprir os requerimentos hídricos de culturas de arroz e culturas temporárias (que podem atingir valores de até 600 mm/ano), com precipitações semelhantes à bacia experimental (1000-1500 mm/ano). Já Hachum e Mohammad (2007) encontraram esse valor para o sistema Al Hader no norte do Iraque, com precipitações médias de 150 mm/ano para plantio de cevada.
- O valor de NDC para a bacia (=1,2) sobrepassa os valores propostos por Devineni *et al.* (2013), sendo todos inferiores à unidade (1,0). Sendo que a aplicação no trabalho de Devineni *et al.* (2013) considera a precipitação

como fonte de disponibilidade (tanto na área irrigada como na área não irrigada) em estados da Índia. Isso difere do que se tem para o presente teste: nele se considera como fluxo de entrada do SAAIAF o escoamento produzido na área de captação.

Os indicadores apresentados nessa categoria, a exceção de NDI, foram abordados por Albán (2018) para avaliar a capacidade de reserva hídrica em bacia hidrográfica. O emprego de NDI, como indicador da categoria, contribui na avaliação da capacidade de reserva hídrica do sistema, pois além de considerar o déficit hídrico para um período de avaliação, considera também a dinâmica temporal¹⁷ entre a disponibilidade e demanda em intervalos de tempo inferiores, considerando assim efeitos da sazonalidade.

Em Albán (2018) aplicaram-se também esses indicadores de forma discretizada nas sub-regiões hidrográficas do Córrego Sossego (ver Figura 3), evidenciando diferenças de potenciais/déicits da implementação de SAAIAF nas sub-regiões hidrográficas. Essas diferenças foram explicadas por características agrológicas relacionadas a determinação da demanda hídrica de irrigação (área de irrigação e tipo de culturas) e as características relacionadas a produção de escoamento (área de captação, uso, tipo e cobertura do solo e relevo) identificados em cada sub-região. Isso para oferecer diretrizes sobre quais sub-regiões têm maior capacidade/demanda hídrica para implementar SAAIAF, e assim contribuir com a distribuição do armazenamento hídrico na totalidade da bacia, portanto, com a definição/avaliação de sua configuração.

Os indicadores identificados nessa categoria são úteis para subsidiar o planejamento preliminar de SAAIAF, já que trazem informações sobre condições de déficit hídrico da bacia hidrográfica.

¹⁷ Em Albán (2018) a avaliação da dinâmica temporal entre a demanda e a disponibilidade hídrica do sistema se realiza com o volume de regularização. O NDC considerado no presente modelo é o volume de regularização, normalizado pelo volume disponível do sistema, para um período de avaliação. Essa adaptação faz com que o NDC possa ser comparado em sistemas diferentes, e traz de forma mais direta informações sobre o déficit do sistema, em comparação ao volume de regularização.

5.3.1.2 Categoria Captação-Reservação (CAP-RES)

Os resultados dos indicadores da categoria CAP-RES são apresentados na Tabela 3. Os indicadores advertiram dificuldade de enchimento das estruturas de armazenamento do SAAIAF, isso porque:

- Foi obtido o valor de CSR de 5,0 e de CSCR 7,6. Tais valores se mostraram abaixo dos valores de referência identificados na literatura (ver Quadro 4).
- O FV obtido de 1,2 é superior a 1, indicando que a disponibilidade anual é insuficiente para encher a capacidade de armazenamento simulada para este teste.

Tabela 3. Valores dos Indicadores da categoria CAP-RES para o teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF

Indicador	Valor
CSR	5,0
CSCR (m ⁻¹)	7,6
FV (ano)	1,2

Fonte: Própria.

Sobre os resultados do teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF para a categoria CAP-RES, destaca-se:

- O resultado do inverso de CSR e CSCR informa sobre a densidade de superficial e volumétrica (respectivamente) de armazenamento por unidade de área de captação, 5.2.1.2. Em outras palavras: o valor inverso de CSR mostra que os 20% da área de captação estariam ocupados por estruturas de armazenamento; e o valor inverso de CSCR aponta para uma densidade volumétrica de 0,13 hm³/km². O valor inverso de CSR é muito superior ao identificado por Srinavasava (2017) para caracterizar tanques, cuja ARES corresponde a valores entre 2 a 8% da área de ACAP. O valor inverso de CSCR é semelhante à assinalada por Malveira; Araújo e Gunter (2012) para a região de Vitória na Austrália (como discutido no item 5.2.3), mas muito superior à encontrada como ótima por Hachum e Mohammad de 0,01 hm³/km² para o sistema Al Hader no norte de Iraque. Isso é compatível com o discutido por Habets e outros (2018), que

relaciona altas densidades volumétricas a regiões com maiores valores de precipitação¹⁸.

- Não foi possível determinar o valor de MRRI, pois não foram assumidas informações sobre o número de unidades e localização (em função à rede de drenagem) das estruturas de armazenamento do sistema planejado. Para abordagens distribuídas, como a proposta nesse teste, esperam-se valores baixos de MRRI.
- A situação de armazenamento simulada está em função de duas premissas: que a capacidade de armazenamento (S) é igual ao volume de regularização¹⁹ e que o armazenamento do sistema se distribui em pequenas unidades de armazenamento. Pelo fato de S estar definido em função do volume de regularização, é de se esperar que os indicadores dessa categoria apontem dificuldades de enchimento dos reservatórios. O comum é que o volume de armazenamento seja uma porção do volume de regularização. Isso porque essa abordagem de planejamento depende da dinâmica temporal da disponibilidade e demanda do sistema, que mostrou ser deficitária para a bacia do Córrego Sossego pelos resultados dos indicadores da categoria CAP-IRR (ver item 5.3.1.1). Outras abordagens poderiam ser utilizadas para definir S, como por exemplo, limitar o valor de S a uma porcentagem do volume disponível, como feito em Eriyagama e outros (2021), para garantir o preenchimento das estruturas ao longo do ano.

Os resultados dessa categoria são úteis para compreender o desempenho hidrológico de SAAIAF em relação à disponibilidade hídrica, mostrando que para a bacia do Córrego Sossego existem dificuldades para preencher a sistema de armazenamento simulado. Essas indicações estão relacionadas as características hidro-agroclimáticas da bacia experimental, a espacialização do

¹⁸ Como discutido no item 5.3.1.1 a precipitação anual na região de Vitória na Austrália é de 1000 a 1500 mm, enquanto na região Al Hader no Irã é de 150 mm.

¹⁹ Essa hipótese só é plenamente aplicável quando não há perdas por evaporação (em cisternas, por exemplo). Em regiões com altas taxas de evaporação potencial, o volume regularizado pode representar um percentual baixo (20 a 30%) da capacidade.

sistema em relação a ACAP e ARES e a capacidade de armazenamento do sistema (S).

Destaca-se que as variáveis sugeridas para caracterizar a componente RES do modelo conceitual dependem de características técnicas relacionadas à configuração de SAAIAF, que não costumam ser disponíveis em um cenário de planejamento. Discutiu-se também que as simplificações adotadas para caracterizar a componente RES influenciam nos valores resultantes dos indicadores. Por exemplo, que a área de reserva simulada fosse os 20% da área de captação, demonstra que essa é significativa, contrário ao proposto para a espacialização do cenário que indica que a área da bacia equivale a soma de ACAP e AIRR. Ao mesmo tempo, ao ser uma área significativa, o volume disponível relacionado a precipitação sobre a superfície da estrutura não foi considerado no teste, e ao ser incluído como proposto por Devineni *et al.* (2013), pode variar os valores dos indicadores para uma situação de disponibilidade e desempenho hídrico mais favorável.

Sobre a configuração, os valores inversos dos indicadores CSR e CSCR apontaram valores sobre as densidades volumétricas e superficiais, o que pode contribuir com a avaliação da configuração dessa realidade simulada. Para o teste na bacia do Córrego Sossego, os resultados desses indicadores foram semelhantes a outros casos de estudo, como o da região de Vitória, na Austrália, que possui um valor de precipitação média anual semelhante ao da bacia piloto. Destaca-se também que, para o teste na fase de planejamento, não foi possível avaliar o nível de distribuição das tecnologias de armazenamento medido pelo MRRI por serem necessárias informações mais detalhadas sobre o número e capacidade das estruturas do sistema.

5.3.1.3 Categoria Captação-Irrigação (RES-IRR)

Os resultados dos indicadores da categoria RES-IRR são apresentados na Tabela 4. Os indicadores SCR, W e FS se enquadram nos valores de referência apresentados (ver Quadro 5). No entanto, identifica-se que $AIRR_{ideal}$ é inferior à área irrigada da bacia e que FS é inferior a 1. Ambos os resultados sugerem déficit de atendimento das demandas de irrigação pelo uso da água armazenada no sistema.

Tabela 4. Valores dos indicadores da categoria RES-IRR para o teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF

Indicador	Valor
SCR	0,8
W (m)	0,5
AIRR _{ideal} (ha)	984
FS	0,8

Fonte: Própria.

Sobre os resultados do teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF para a categoria RES-IRR, destaca-se:

- O resultado de W (=0,5 m) está entre as faixas de 0,5-0,7 m, a qual Van Der Zaag e Gupta (2008) consideram como de valores típicos para sistemas que se baseiam no conceito de irrigação deficitária, que corresponde com a situação do presente teste. No entanto, esse valor (=0,5 m) é muito superior ao encontrado por Hachum e Mohammad (2007), igual a 0,01 m, para o dimensionamento mais econômico desses sistemas no norte do Iraque. O resultado obtido para W também se insere na faixa de valores apresentada por Srivastava (2001), ou seja, 1750-6000 m³/ha (= 0,2-0,6 m) para irrigação de uma cultura de arroz alternada com culturas sazonais em um sistema no oeste da Índia.
- O resultado de AIRR_{ideal} (=984 ha) é inferior à área irrigada da bacia Córrego Sossego (de 1231 há, ver Tabela 1), indicando déficit de atendimento de 247 ha, que equivale a 20% da área irrigada do sistema. Isso não condiz com o esperado ao se considerar a capacidade hídrica de armazenamento (S) para o sistema testado como o volume de regularização. Isso pode ser explicado porque ao ser uma variável da componente irrigação, a lâmina de irrigação anual (LI) não considera a dinâmica temporal das entradas e saídas do reservatório.

Os resultados dessa categoria são úteis para compreender a capacidade de atendimento do sistema em relação às demandas de irrigação, mostrando que para a bacia do Córrego Sossego indica déficit hídrico de atendimento das demandas pelo sistema de armazenamento simulado. Essas indicações estão

relacionadas às características agroclimáticas da bacia experimental, à espacialização do sistema em relação a ARES e AIRR e à capacidade de armazenamento do sistema.

5.3.2 Teste para diferentes tecnologias

Os valores das variáveis das componentes captação (CAP) reservação (RES) e irrigação (IRR) para as tecnologias: tanque, cisternas, barraginha e barragens (BARRX1 e BARRX3) são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização das variáveis para cada tecnologia

Componente	Variável	Tanque	Cisterna	Barraginha	BARRX1	BARR X3
CAP	ACAP (há)	6,6	2,0E-02	0,6	623,5	207,8
	Q (mm)	104	925	104	104	104
	DISP (m ³ /ano)	6.712,2	185,2	629,3	653.918,3	218.042,7
IRR	AIRR (ha)	8,2	8,2	4,1	153,9	51,3
	Li_anual (mm)	664	664	664	664	664
	DEM (m ³ /ano)	53.149,0	53.149,0	26.574,5	1.021.124,9	338.824,8
RES	ARES (ha)	1,6	3,1E-03	2,4E-02	30,0	15,0
	S (m ³)	10.942	52	104	400.000	150.000
	H (m)	2,0	1,8	1,3	4,0	3,0

Fonte: Própria.

A caracterização das variáveis relacionadas às componentes captação (CAP) e irrigação (IRR) foi baseada nos resultados obtidos a partir da aplicação do procedimento metodológico para determinar a capacidade de reservação hídrica na bacia do Córrego Sossego (ALBÁN, 2018). A capacidade de armazenamento do SAAIAF foi assumida em função as simplificações sobre as dimensões das tecnologias e a sua espacialização como descrito no tem 4.3.3.

Sobre os resultados da caracterização das variáveis destaca-se:

- As tecnologias podem se organizar de maior a menor em função do seu tamanho medido com a capacidade de armazenamento (S), em BARRX1, BARRX3, tanque, barraginha e cisterna. Mostrando que as tecnologias com abordagens coletivas (BARRX1 e BARRX3) têm capacidades maiores que as tecnologias planejadas para atendimento individual e misto (tanque, barraginha e cisterna). As capacidades de todos os protótipos que caracterizam as tecnologias encontram-se no limite de 1 milhão de m³ estabelecido por Lasage e Verbug (2012) para pequenos reservatórios. As capacidades das cisternas e barraginhas se encontram entre o definido por Ngigi (2003), próximas a 50 m³; enquanto a do tanque é mais semelhante às tecnologias caracterizadas por Van der Zaag e Gupta (2008) e Srinivasa *et al.* (2017), com capacidades de 500- 1000 m³.
- Assim como com S, as tecnologias podem se organizar de maior a menor em função da área de captação (ACAP) ou da área reservação (ARES), em BARRX1, BARRX3, tanques, barraginhas e cisternas. ARES de todos os protótipos que caracterizam as tecnologias, encontram-se no limite de 50 ha estabelecido por Habets *et al.*, (2014) para pequenos reservatórios. Destaca-se que ARES das cisternas e barraginhas são inferiores a 2000 m², superfície requerida para garantir que as estruturas superem o período de seca (pelo menos em anos hidrológicos normais), por serem menores de 2000 m² (MARÍN; SCHNABEL; PULÍDO, 2020)²⁰.
- A profundidade das tecnologias (H) também está relacionada com seu tamanho, mostrando que tecnologias com maiores valores de H estão relacionadas a maiores valores de S. A exceção é do caso das cisternas (H=1,8 m e S=52 m³) e da barraginha (H=1,3 m e S=104 m³). Isso é explicado pela geometria das estruturas, pois barragens, barraginhas e tanques foram considerados tecnologias escavadas, sendo assumida

²⁰ O valor obtido por Marín, Schnabel e Pulído (2020) foi utilizado para caracterizar *ponds* para desedentação animal em 2 fincas no sudeste da península Ibérica.

uma geometria de tipo cone, enquanto as cisternas são tecnologias pre-dimensionadas com uma geometria cilíndrica (ver item 4.3.3).

- Dado que se assumiu para as tecnologias escavadas (tanques, barragens e barraginha), que captam o escoamento da superfície natural, as condições microclimáticas seriam as mesmas a da bacia do Córrego Sossego ($Q = 104 \text{ mm}$). No entanto, para as cisternas, que captam o escoamento de superfícies impermeáveis, o resultado de Q foi muito superior ($=925$), mostrando maior potencial de captar água.

5.3.2.1 Categoria Captação-Irrigação (CAP-IRR)

Os resultados dos indicadores da categoria CAP-IRR para o teste com diferentes tecnologias são apresentados na Tabela 6. Os indicadores mostraram maior déficit pelas demandas hídricas de irrigação em comparação com o teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF (ver item 5.3.1.1), para as tecnologias individuais e mista: tanques, cisternas e barraginhas. Isso em função da espacialização definida para cada uma delas, descritas na metodologia (ver item 4.3.3). As barragens (BARRX1 e BARRX3)²¹ não tiveram variações em relação ao primeiro teste, pois a espacialização desses sistemas foi a mesma.

Tabela 6. Resultados dos indicadores por tecnologia para CAP-IRR

INDICADOR	TANQUE	CISTERNA	BARRAGINHA	BARRX1	BARR X3
CCR	0,8	0,0	0,1	4,1	4,1
CCR _{ideal}	6,4	0,7	6,4	6,4	6,4
SI	7,9	287,0	42,2	1,6	1,6
NDC	7,5	286,4	41,8	1,2	1,2

Fonte: Própria.

Os resultados mostram que para capacidades de armazenamento (S) maiores, o CCR é maior e o déficit hídrico diminui, conforme medido pelos indicadores SI e NDC. Nesse contexto, observa-se que os valores de CCR, de maior para menor da seguinte maneira: barragens > tanque > barraginha > cisterna. Essa

²¹ Lembrando que BARRX1, é o protótipo da tecnologia barragens com um nível de distribuição de 1, que corresponde a uma barragem por sub-região hidrográfica; enquanto BARRX3, com um nível de distribuição 3, representa três barragens por sub-região.

ordem coincide com os maiores valores de S, como já discutido, e com menores valores de SI e NDC.

Sobre os resultados do teste de diferentes tecnologias para a categoria CAP-IRR, destaca-se:

- O CCR é igual para as barragens caracterizadas, independentemente de sua distribuição (BARRX1 e BARRX3), como obtido no teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF (ver item 5.3.1.1). Isso ao ser assumido a mesma espacialização, em que a área total da bacia ou da sub-região é igual à soma da área de captação (ACAP) e área de irrigação (AIRR), ao mesmo tempo que se assumiu homogeneidade na distribuição da área de irrigação na bacia.
- O CCR_{ideal} , mostrou-se de valor superior ao CCR para todas as tecnologias, corroborando as informações sobre déficit hídrico no sistema. No entanto, o CCR_{ideal} foi de igual valor para todas as tecnologias escavadas (= 6,4) e diferente daquele correspondendo à cisterna (= 0,7). Isso pode ser explicado, pela diferença das características hidroclimáticas, que são constantes para as tecnologias escavadas, mas que muda para a cisterna pela sua característica de captar a água de uma área impermeável (ou que muda o escoamento anual produzido Q).
- Para as tecnologias individuais e mista, os indicadores da categoria CAP-IRR apontam para maior magnitude no déficit hídrico em comparação com as tecnologias planejadas pela abordagem coletiva. Entre essas tecnologias, as barraginhas e as cisternas, mostraram déficits hídricos altos e, portanto, uma baixa capacidade de atendimento das demandas hídricas para irrigação.

Os resultados apontam que a variação dos valores dos indicadores entre diferentes tecnologias na bacia do Córrego Sossego é atrelado a diferenças nas proporções das áreas e das componente de captação e irrigação, relacionado a espacialização do sistema; e ao mecanismo diferenciado de captação de água das cisternas, que se caracteriza pela impermeabilidade da superfície da componente CAP. No entanto, os resultados sobre o déficit hídrico (SI e NDI)

estão mais associados à espacialização das estruturas do que às características hidro-climáticas do sistema, mostrando que maiores valores de CCR estão relacionados a menor déficit hídrico, como é de se esperar. Os resultados sobre o déficit hídrico são corroborados por alguns autores que mostram que sistemas centralizados ou grandes reservatórios têm maior eficiência para o atendimento das demandas hídricas (VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008).

5.3.2.2 Categoria Captação-Reservação (CAP-RES)

Os resultados dos indicadores da categoria CAP-RES para o teste com diferentes tecnologias são apresentados na Tabela 7. Maiores valores dos indicadores CSR e CSCR indicadores, e menores valores de FV, apontam maior capacidade de enchimento das estruturas de armazenamento hídrico em comparação ao teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF (ver item 5.3.1.1) para a barraginha e as barragens. O mesmo comportamento foi evidenciado para as cisternas para o indicador CSR, mas não para o CSCR. No entanto, os tanques mostraram desempenho hidrológico inferior ao teste, sem informações sobre a configuração de SAAIAF.

Tabela 7. Resultados dos indicadores por tecnologia para CAP-RES

INDICADOR	TANQUE	CISTERNA	BARRAGINHA	BARRX1	BARR X3
CSR	4,0	6,5	25,0	20,8	13,9
CSCR (m ⁻¹)	6,0	3,8	57,7	15,6	13,9
FV (ano)	1,6	0,3	0,2	0,6	0,7
MRRI	2,1E-03	9,9E-06	2,0E-05	7,6E-02	2,9E-02

Fonte: Própria.

Sobre os resultados do teste de diferentes tecnologias para a categoria CAP-RES, destaca-se:

- As barragens BARRX1 e BARRX2 obtiveram um melhor desempenho relacionado aos indicadores SC, SCR e FV em relação ao teste sem informações sobre a componente reservação (assumindo a mesma especialização de SAAIAF). O resultado é explicado por adotar o 50% do volume de regularização para estabelecer a capacidade em vez do 100%,

sendo uma proposição mais realista para planejamento do armazenamento hídrico.

- Nota-se na Tabela 7 que os valores de CSR e CSCR das tecnologias caracterizadas são pequenos em comparação com os valores de referência recomendados na literatura 10-200 e de 4-100 m⁻¹, respectivamente (ver Quadro 4). Ainda assim, esses valores são superiores (a exceção do tanque) aos valores obtidos no teste sem considerar a configuração de SAAIAF (ver Tabela 3), mostrando que a espacialização proposta para as tecnologias cisterna e barraginha têm maior potencial de enchimento das estruturas de armazenamento do que o proposto no primeiro teste.
- A barraginha apresenta maior capacidade de enchimento segundo os valores obtidos de CSR e CSCR, seguido pelas barragens (BARRX1 e BARRX3). O tanque e a cisterna mostram maiores dificuldades de encher a capacidade do sistema, sendo que o tanque mostra melhor desempenho quando se avalia o valor de CSCR, no entanto, o contrário ocorre quando avaliado o resultado de CSR (para esse indicador, a cisterna apresenta valor maior). Essa discrepância está relacionada à proporção ARES:S, menor para profundidades e capacidades maiores, aumentando o valor de CSR e diminuindo o valor de CSCR.
- Os valores de FV inferiores a 1 mostram que as estruturas barraginha, cisterna e barragens (em ordem do mais ao menos eficiente) conseguem encher suas estruturas ao longo do ano hidrológico. Apenas o tanque apresenta um cenário de déficit hídrico em relação à disponibilidade para enchimento da estrutura, requerendo pelo menos 1,6 anos para garantir seu enchimento. Isso pode ser explicado pela espacialização definida para essa tecnologia, pois a área de captação do tanque é uma porcentagem da área da propriedade.
- Os valores obtidos para MRRI foram condizentes com ACAP e S, onde tecnologias com maiores valores de ACAP e S também têm valores mais altos de MRRI e, portanto, se consideram menos distribuídas. Assim, o teste mostrou que as barragens são menos distribuídas que os tanques,

seguidas pela barraginha e pela cisterna. Os valores do indicador são muito inferiores aos apontados por Eriyagama *et al.* (2022)²². Isso se explica porque no teste avalia-se o MRRI para uma tecnologia considerando a localização da estrutura (em função de ACAP). Uma avaliação de uma configuração composta por várias unidades de diferentes tecnologias para a bacia do Córrego Sossego mostraria a contribuição de cada estrutura para o MRRI, acrescentando o seu valor.

Os resultados apontam que variações dos valores dos indicadores entre diferentes tecnologias na bacia do Córrego Sossego está relacionado a diferenças na espacialização das tecnologias, nas características hidroclimáticas e na capacidade de armazenamento. A cisterna e a barraginha mostraram maior capacidade de enchimento em comparação aos valores de referência. Enquanto a tecnologia do tanque aponta déficit para enchimento da estrutura de armazenamento com o volume disponível.

Destaca-se que o tanque foi a tecnologia que mostrou maior dificuldade para enchimento (por resultados dos indicadores da categoria CAP-RES). Esse resultado pode ser explicado pela espacialização definida para essa tecnologia, que limita a área de captação à área da propriedade.

Em geral, as tecnologias de menores tamanhos mostraram melhor desempenho para enchimento delas. No entanto, os indicadores não discutem o desempenho hidrológico de altas perdas por evaporação e infiltração, sendo mais relevantes em pequenas estruturas, como discutido por Brasil e Medeiros (2020), Campos *et al.* (2003) e Araújo e Pruski (2015). Sobre a configuração, o indicador MRRI traz informações sobre a distribuição das estruturas de armazenamento caracterizadas entre as diferentes tecnologias.

²² Ressalta-se que a avaliação de Eriyagama foi realizada para avaliar diferentes distribuições de barragens nas bacias hidrográficas de *Malwatu Oya* e *Kalu Ganga* em Sri Lanka, de dimensões entre 2000 e 3000 km², muito superiores ao Córrego Sossego. ACAP das estruturas mais distribuídas nessa aplicação foi de mais de 20 km², fora do escopo do entendido como pequenas estruturas de armazenamento.

5.3.2.3 Categoria Reservação-Irrigação (RES-IRR)

Os resultados dos indicadores da categoria RES-IRR para o teste com diferentes tecnologias são apresentados na

Tabela 8. Os indicadores SCR, W e FS indicam menor capacidade de atendimento das demandas hídricas pelas tecnologias empregadas em contraste ao teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF (ver item 5.3.1.3).

Tabela 8. Resultados dos indicadores por tecnologia para RES-IRR

INDICADOR	TANQUE	CISTERNA	BARRAGINHA	BARRX1	BARR X3
SCR	0,2	3,7E-04	5,8E-03	0,2	0,3
W	0,1	6,3E-04	2,5E-03	0,3	0,3
AIRR _{ideal} (ha)	1,6	7,8E-03	1,6E-02	60,2	22,6
FS	0,2	1,0E-03	4,0E-03	0,4	0,4

Os resultados mostram que para capacidades de armazenamento (S) maiores, todos os indicadores da categoria RES-IRR são mais altos, indicando maior capacidade de atendimento da estrutura de armazenamento para cada tecnologia sobre a área irrigada (AIRR) de cada sistema. Nesse contexto, observa-se que os valores desses indicadores, de maior para menor da seguinte maneira: barragens > tanque > barraginha > cisterna. Encontra-se uma exceção para os protótipos BARRX1 e BARRX3 que representam a barragem como tecnologia distribuída nos níveis 1 e 3, pois BARRX1 com maior capacidade tem menor SCR do que BARRX2. Isso é explicado por que a relação ARES/AIRR é maior para tecnologias com menores profundidades (H), como BARRx3 em comparação a BARRX1 (ver Tabela 5).

Sobre os resultados do teste de diferentes tecnologias para a categoria CAP-IRR, destaca-se:

- Os resultados dos indicadores da categoria RES-IRR mostraram desempenho inferior para as tecnologias em comparação com o teste sem informações sobre a configuração.

- Os valores dos indicadores relacionados SCR, W e FS obtidos para as tecnologias tanque e barragens (BARRX1 e BARRX3) se enquadram nos valores de referência identificados na literatura (ver Quadro 5). No entanto, os valores desses indicadores para as tecnologias cisterna e barraginha são muito inferiores aos valores de referência. Isso mostra a baixa capacidade desses tipos de tecnologia atenderem as demandas hídricas, assim como a falta de estudos na literatura sobre a avaliação de desempenho delas para fins de suprimento de demandas de água para irrigação, mesmo sendo utilizadas como estratégia de armazenamento para mitigar efeitos das secas e contribuir com o bem-estar de famílias de agricultores/agricultoras em regiões semiáridas (LINDOSO *et al.*, 2018; DELGADO; BERGAMASCO, 2017)
- Sobre a $AIRR_{ideal}$, os resultados mostram que seus valores são inferiores à $AIRR$ caracterizada para cada tecnologia (ver Tabela 5), mostrando déficit superior, entre 50 e 100% de atendimento de $AIRR^{23}$, superiores em comparação com o teste sem informações sobre a configuração SAAIAF (ver item 5.3.1.3). A informação do déficit entre $AIRR_{ideal}$ e $AIRR$ coincide com a apresentada para os outros indicadores da categoria (SCR, W, FS), mostrando que atinge quase 100% para cisterna e barraginha, aproximadamente 80% para tanques e 56% e 60% para BARRX3 e para BARRX1.
- Os valores de FS inferiores a 1, mostram que as tecnologias caracterizadas apenas atendem uma porção da demanda de irrigação. Sendo muito pequena para as cisternas e barraginhas, do 20% para o tanque e do 40% para as barragens. Resultados coerentes com os obtidos sobre o déficit de $AIRR_{ideal}$ em relação a $AIRR$, já discutidos.

Os resultados apontam que variações dos valores dos indicadores entre diferentes tecnologias na bacia do Córrego Sossego é atrelado a diferenças nas proporções das áreas das componentes de reservação e irrigação, das características agroclimáticas e da capacidade de armazenamento

²³ O déficit de atendimento em relação a diferença entre o valor de $AIRR_{ideal}$ e $AIRR$ caracterizada para cada tecnológica.

caracterizadas para cada tecnologia. As cisternas e barraginhas, mostraram menor capacidade de atendimento da demanda hídrica de irrigação, seguida pelas tecnologias tanque e barragens. Isso condiz com a função atrelada a cisternas e tanques na literatura, mostrando que as cisternas são implementadas para abastecimento humano e irrigação de pequenas áreas de hortaliças, e as barraginhas para recarga de aquíferos e redução da erosão (LINDOSO *et al.*, 2018; DELGADO; BERGAMASCO, 2017).

5.3.3 *Discussões gerais*

Com a aplicação realizada do modelo conceitual pretendeu-se ser prospectivo em relação à configuração de SAAIAF na bacia experimental do Córrego Sossego, para mostrar o potencial do modelo conceitual desenvolvido de contribuir para o planejamento desses sistemas e de avaliar diferentes tipos de tecnologias empregadas para armazenamento hídrico na agricultura familiar. Para isso, foram utilizadas informações da bacia experimental que representam as condições hidro-agroclimáticas da região.

É importante destacar também que para o teste do modelo conceitual desenvolvido optou-se por construir simplificações que ajudassem: 1. a abordar o planejamento de SAAIAF sem possuir informações sobre sua configuração; 2. a considerar diferentes tipos de tecnologias de armazenamento empregadas na agricultura familiar. Em qualquer desses casos, cabe esclarecer que não foi objeto da aplicação quantificar ou modelar os fluxos do balanço hídrico da bacia experimental com precisão, mas sim ter uma referência de uma realidade relacionada com a agricultura familiar para testar o potencial do modelo conceitual de dar diretrizes sobre a definição/avaliação de SAAIAF.

O teste sem informações sobre a configuração de SAAIAF, mostrou que os indicadores do modelo conceitual podem ser empregados para o planejamento preliminar de estruturas de armazenamento com uma abordagem distribuída. Isso com informações hidro-agroclimáticas e simplificações sobre a espacialização das componentes captação (CAP), reservação (RES) e irrigação (IRR). Para caracterizar as componentes CAP e IRR foram adotadas as informações empregadas e transformadas no trabalho de Albán (2018), as quais podem ser consultadas no Apêndice A. Em relação à componente RES foi

necessário assumir informações sobre a geometria e capacidade do reservatório em função da dinâmica entre a demanda e a disponibilidade, e uma abordagem distribuída de planejamento.

Os resultados dos indicadores mostraram informações sobre o desempenho de SAAIAF simulado na bacia do Córrego Sossego. No geral, os resultados mostraram déficit em atender a demanda hídrica para irrigação na bacia experimental com a disponibilidade existente para armazenamento (relacionada aos resultados dos indicadores CAP-IRR), dificuldade de enchimento das estruturas de armazenamento com a disponibilidade da bacia (relacionada aos resultados dos indicadores CAP-RES), e dificuldade de atendimento das demandas hídricas de irrigação em função da capacidade de armazenamento das estruturas (relacionada aos resultados dos indicadores RES-IRR).

O teste para diferentes tecnologias empregadas na agricultura familiar, mostrou que o modelo conceitual pode ser aplicado para representações de diferentes tecnologias como SAAIAF. Para isso foi necessário definir para cada representação a capacidade de armazenamento e a espacialização das componentes CAP:RES:IRR, em função de mecanismos diferenciados para captar e armazenar água de cada tecnologia, e da abordagem de planejamento (mista, individual e coletiva). O teste demonstrou que os indicadores do modelo conceitual desenvolvido têm potencial de ser utilizados para diferentes tecnologias sempre e quando se possuam informações (reais ou hipotéticas) que caracterizem as componentes CAP, RES e IRR.

Os resultados dos indicadores apontaram que, para a bacia experimental, as representações das tecnologias com capacidades de armazenamento maiores apresentam menor déficit de atendimento da área irrigada e maior dificuldade de enchimento da(s) estrutura(s). Destaca-se que as representações das tecnologias cisterna e barragem, de menor capacidade, mostram maior desempenho para o enchimento das estruturas e, ao mesmo tempo, maior déficit hídrico para o atendimento das demandas hídricas. No entanto, as representações relacionadas ao tanque e às barragens mostraram os resultados opostos. Sendo que os valores de referência se adéquam mais às

representações do tanque e das barragens, que geralmente são os objetos dos estudos que alimentaram o modelo conceitual.

Frente a isso, destaca-se a falta de estudos que quantificam o desempenho de tecnologias como cisternas e barragem para o atendimento das demandas hídricas de irrigação, mesmo quando essas tecnologias têm sido empregadas como estratégias de armazenamento hídrico em escala local (ver item 3.4). Isso, em decorrência da baixa capacidade para atendimento das demandas hídricas de culturas e a sua associação com outras funcionalidades. As cisternas são normalmente empregadas para abastecimento de água para consumo humano (CAMPISANO; MODICA, 2012), enquanto as barragens estão associadas à redução da erosão e à recarga de aquíferos (EMBRAPA, 2009).

No entanto, a literatura apontou que tanto cisternas como barragens contribuem com o aumento da disponibilidade de água para irrigação, especialmente em regiões semiáridas. Lindoso *et al.* (2018) discute que as cisternas são utilizadas em hortas produtivas e contribuem com a subsistência das famílias agricultoras. Já Sekar e Randhir (2017) diz que as barragem devem ser planejadas coletiva e estrategicamente, pois a recarga aos aquíferos aumentam a disponibilidade de água subterrânea, a qual é fonte para irrigação.

Também se destaca que essas tecnologias apresentam vantagens sobre os mecanismos de captação e armazenamento em relação aos tanques e as barragens. Enquanto as cisternas possuem uma cobertura e uma superfície impermeável, que reduzem quase em sua totalidade as perdas por infiltração e evaporação; as barragens têm capacidade de ser enchidas várias vezes no ano (EMBRAPA, 2009), aumentando a sua capacidade real de armazenamento²⁴.

A aplicação mostrou também que os resultados dos indicadores são coincidentes com as características das componentes captação, reservação e irrigação. Por exemplo, o déficit apresentado nos indicadores CAP-IRR coincide com o fato do volume demandado para irrigação suplementar ser superior ao

²⁴ Cabe mencionar que se se considera essa alteração na aplicação dos resultados dos indicadores, o valor de desempenho de essas estruturas se mostraria melhor.

volume potencial para ser armazenado na bacia. Do mesmo modo, o déficit relacionado aos indicadores CAP-RES está relacionado a uma capacidade de armazenamento superior ao volume disponível para armazenamento, e a sua vez indica um superdimensionamento da(s) estrutura(s) de armazenamento relacionadas ao SAAIAF. No entanto, o uso de indicadores permite mensurar esse déficit, assim como o desempenho de cada categoria para uma dada situação.

Nesse sentido é importante considerar que ao aplicar o modelo, incertezas sobre a origem e tratamento das informações, e sobre as simplificações adotadas, podem alterar os valores dos resultados do modelo. Nesse sentido, comparações entre os valores dos indicadores devem considerar essas incertezas.

A aplicação também permitiu aprimorar o modelo conceitual. A geometria do reservatório não foi considerada variável para caracterizar a componente RES no modelo conceitual desenvolvido (ver item 5.2.2). Mas na aplicação, foi necessário definir uma profundidade de dois metros, relacionada ao planejamento de pequenas estruturas de armazenamento hídrico distribuídas na bacia; e uma geometria cônica, característica de estruturas escavadas. Isso para poder determinar a ARES dos sistemas simulados. Nesse sentido, se destaca que tanto a profundidade como a geometria definem a relação área/volume das estruturas, a qual está relacionada com as perdas por infiltração e evaporação das estruturas (ERİYAGAMA *et al.*, 2021; DE ARAÚJO; BRONSTERT, 2016; VENOT; DE FRAITURE; ACHEAMPONG, 2012; CAMPOS *et al.* 2016; VAN DER ZAAG; GUPTA, 2008). A influência dessa relação foi observada na aplicação dos indicadores CSR e CSRS para as representações tanque e cisterna, como discutido no item 5.3.2.2. De modo que, mesmo essas variáveis não foram explicitadas no modelo (ver item 5.2.2), recomendam ser incluídas por sua utilidade para caracterizar a componente RES e para compreender os resultados dos indicadores.

Identificou-se que os resultados da maioria dos indicadores se encontram na faixa de valores identificados na literatura. No entanto, destaca-se que não se dispõe de valores de referências estatisticamente recomendados, que permitam

a comparação desses indicadores para diferentes tipos de tecnologias, ou para avaliar a idoneidade de um sistema. De modo que, a aplicação mostrou que o modelo consegue identificar déficit hídrico frente a uma situação pontual do SAAIAF por meio do balanço hídrico, ou de comparar resultados entre cenários para compreender qual é o mais favorável em relação a uma categoria. Nesse sentido, é necessário se aprofundar mais na determinação de valores de referência para os indicadores propostos, para regiões e tecnologias semelhantes. Isso para melhorar a avaliação e o planejamento de SAAIAF por meio do modelo conceitual.

Para a aplicação do modelo conceitual, foi necessário realizar alguns procedimentos e simplificações que podem ser úteis para o planejamento de SAAIAF em uma bacia experimental. Na sequência, descrevem-se alguns dos passos empregados implicitamente na aplicação do modelo conceitual na bacia do Córrego Sossego.

- Em um primeiro momento, pode-se definir em função das características sociais, econômicas, culturais e institucionais qual deve ser a abordagem de planejamento das estruturas (individual, coletiva ou mista).
- Em função dessa abordagem, propõem-se tecnologias apropriadas para sua aplicação. Após essa proposição, essas tecnologias devem se adaptar ao contexto hidro-agroclimático.
- Propõem-se representações dessas tecnologias que permitam a caracterização das componentes CAP, RES e IRR, definindo a espacialização do SAAIAF. Importante considerar aspectos naturais e humanos nessa etapa.
- Comparam-se os valores dos cenários e as informações sobre o desempenho de cada representação para as 3 categorias do modelo: CAP-IRR, CAP-RES e RES-IRR.

A comparação dos resultados dos indicadores por categoria, podem dar informações aos tomadores de decisões sobre o desempenho dos sistemas simulados, promovendo a seleção de uma melhor alternativa em função das

características hidro-agroclimáticas. No entanto, entende-se que a aplicação do modelo conceitual não é suficiente para definir a configuração de SAAIAF. Para isso é necessário da aplicação conjunta de outras metodologias que envolvam a participação de diferentes atores no processo (especialmente dos usuários do sistema), a inclusão de outros aspetos para seleção de tecnologias e alternativas de configuração, e a inclusão de metodologias que permitam avaliar impactos positivos ou negativos para os diferentes atores do sistema.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

Na presente tese foi desenvolvido um novo modelo conceitual para sistemas de armazenamento de água para irrigação na agricultura familiar (SAAIAF), que visa contribuir com a definição/avaliação da configuração desse sistema, sendo essa definida como o número de unidades, tipo de tecnologias, capacidade e local de implementação da(s) estrutura(s) de armazenamento do sistema. O modelo sugere que a compreensão do SAAIF nas componentes captação (CAP), Reservação (RES) e Irrigação (IRR), simplifica a complexidade atrelada a fenômenos socio-hidrológicos e contribui com a sua definição/avaliação.

6.1.1 Identificação de fatores do modelo conceitual

Foram identificados fatores que podem influenciar com o desempenho de SAAIAF como sistema socio-hidrológico e, portanto, com a definição da sua configuração. A sistematização de fatores intervenientes, que antes estavam dispersos na literatura (muitos deles ainda pouco utilizados em modelos de avaliação de SAAIF), assim como a identificação (descrição) de algumas relações e inter-relações entre eles, auxiliam na compreensão de SAAIAF e, portanto, no seu planejamento e avaliação sob uma visão sistêmica e multidimensional.

6.1.2 Desenvolvimento do modelo conceitual para contribuir na definição/avaliação de SAAIAF

Desenvolveu-se um modelo conceitual para contribuir como a avaliação/definição de SAAIAF. O modelo considera o SAAIAF como um complexo de 3 componentes: captação (CAP), reservação (RES) e irrigação (IRR); e reconhece que relações entre elementos dessas componentes indicam informações sobre o desempenho do sistema. A sistematização de variáveis, indicadores, e valores de referências organizados nas categorias captação-irrigação (CAP-IRR), captação reservação (CAP-RES) e reservação-irrigação (RES-IRR) contribuem com o planejamento e avaliação do desempenho de SAAIAF. Com isso, o modelo pode contribuir na definição/avaliação da configuração de SAAIAF ao promover a agregação das características das

componentes de várias estruturas de armazenamentos individuais em uma escala de planejamento para uma análise global, sendo sua aplicação flexível em diferentes escalas espaço-temporais.

6.1.3 Teste do modelo conceitual para contribuir na definição/avaliação de SAAIAF

Testou-se o potencial de aplicação do modelo conceitual por meio de experimentação na bacia do Córrego Sossego, para representar uma realidade específica de irrigação na agricultura familiar. Demonstrou-se o potencial de planejamento do modelo conceitual, ao se aplicar a um cenário sem informações sobre a configuração de SAAIAF, considerando apenas características hidro-agroclimáticas da bacia experimental e simplificações sobre o sistema de armazenamento com uma visão de atendimento coletivo e distribuído. Demonstrou-se também o potencial do modelo conceitual de avaliar diferentes tecnologias de armazenamento de água empregadas para fins de irrigação na agricultura familiar, em função dos seus mecanismos para captar/armazenar água e da sua espacialização (em função de abordagens de planejamento).

6.2 RECOMENDAÇÕES

Com a finalização do estudo, algumas recomendações são feitas para o desenvolvimento de futuras pesquisas visando a contribuição da definição avaliação da configuração de SAAIAF:

- Estudar faixas de valores apropriados para os indicadores do modelo, em diferentes especificidades hidro-agroclimáticas e para diferentes tecnologias.
- Integrar metodologias e modelos que permitam incorporar outros fatores intervenientes no desempenho e configuração de SAAIAF, que não foram considerados na construção do modelo conceitual. Para tal finalidade, indica-se o emprego de metodologias participativas, análises multicritério, mapas de identificação de locais de armazenamento e de tecnologias mais apropriadas, rotinas de simulação e otimização, e análises estatísticas.

- Aprimorar o modelo conceitual desenvolvido, considerando outros aspectos do balanço hídrico, como: a perda de água na estrutura de armazenamento por evaporação e infiltração; inclusão do fenômeno erosão-sedimentação; e efeitos relacionados a localização a montante/jusante da estrutura de armazenamento. Para isso, recomenda-se desenvolver/ajustar indicadores em função de uma análise analítica e da integração de balanços hídricos mais detalhados para determinação das variáveis que compõem o modelo.
- Avaliar diferentes configurações de SAAIAF para uma realidade hidrológica específica, ao agregar estruturas de armazenamento individuais pelas componentes captação, reservação e irrigação para diferentes tipos de tecnologias e escalas espaço-temporais.
- Desenvolver metodologias para integrar outras tecnologias e estratégias relacionadas ao armazenamento hídrico na agricultura familiar que não são *ex-situ*, como por exemplo barragens subterrâneas.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHEAMPONG, D. *et al.* Asssesing the effectiveness and impact of agricultural water management interventions: the case of small reservoirs in northern Ghana. **Agricultural Water Management**, v. 209, p. 163–170, 2018.

ADHAM, A. *et al.* A methodology to assess and evaluate rainwater harvesting techniques in (semi-) arid regions. **Water (Switzerland)**, v. 8, n. 5, p. 1–23, 2016a.

ADHAM, A. *et al.* Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, n. 2, p. 108–120, 2016b.

ADHAM, A. *et al.* A water harvesting model for optimizing rainwater harvesting in the wadi Oum Zessar watershed, Tunisia. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 191–202, 2016c.

AGORAMOORTHY, G.; CHAUDHARY, S. Harvesting River water through small dams promote positive environmental impact. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2016.

AL-ANSARI, N. *et al.* Water Harvesting and Reservoir Optimization in Selected Areas of South Sinjar Mountain, Iraq. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 12, p. 1607-1616, 2013.

ALBÁN, V.D. **Dimensionamento da capacidade de reservação hídrica de macro sistemas de captação de água de chuva para pequenos sistemas de irrigação em pequenas bacias hidrográficas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2018.

ANDRADE, L.R.; MAIA, A.G; LUCIO, P.S. Relevance of hydrological variables in water-saving efficiency of domestic rainwater tanks: Multivariate statistical analysis. **Journal of Hydrology**, n. 545, p. 163-171, 2018.

ARAÚJO, J.C; BRONSTERT, A. A method to assess hydrological drought in semi-arid environments and its application to the Jaguaribe River basin, Brazil. **Water international**, p.18, 2015.

ARAÚJO, A.; PRUSKI, F. F. Improving the determination of reservoir capacities for drought control. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 29, n. 1, p. 183–191, 2015.

ARCHIDIACONO. **Socio-technical tinkering with rainwater harvesting infrastructure, the case of Cochabamba Bolivia**. 2019. P.103. Master of Science degree at the IHE Delft Institute for Water Education, Delft, the Netherlands, 2019.

BALDERAMA, O.F. Technical and Institutional Options of Water Harvesting Systems for Climate Change Adaptation in Agriculture. **Handbook of Climate Change Adaptation**, ed. Springer Verlag Berlin Heidelberg, p.19, 2014.

BARRON, J. *et al.* Mapping the potential success of agricultural water management. **Water resources and rural development**, v. 6, p. 24–49, 2015.

BATISTA, N.L. F. Utilização de indicadores de erosão hídrica e qualidade de solos na promoção da produção agrícola sustentável em pequena/microbacia hidrográfica. 2016. p.120. Universidade federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

BINNOTI, T. C. *et al.* Avaliação interdisciplinar de um sistema de captação de água de chuva construído através de processo participativo com agricultores familiares paulistas. **Revista Brasileira de Agroecologia**. ISSN: 1980-9735, v. 8, n. 1, p. 130–141, 2013.

BITTERMAN, P. *et al.* Water security and rainwater harvesting: A conceptual framework and candidate indicators. **Applied Geography**, v. 76, p. 75–84, 2016.

BJORNLUND, H; PITTOCK, J. Exploring the productivity and profitability of small-scale communal irrigation systems in Sub-Saharan Africa. **Water resources development**, v. 33, n.5, p. 685–689, 2017.

BLANC, E.; STROBL, E. Is Small Better? A Comparison of the Effect of Large and Small Dams on Cropland Productivity in South Africa. **The World Bank Economic: Review**. v. 28, n. 3, p. 545–576, 2013.

BRASIL, P.; MEDEIROS, P. NeStRes – Model for Operation of Non-Strategic Reservoirs for Irrigation in Drylands: Model Description and Application to a Semiarid Basin. **Water Resources Management**, v. 34, n. 1, p. 195–210, 2020.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Regional scale analysis for the design of storage tanks for domestic rainwater harvesting systems. p. 1–8, 2012.

CAMPOS, J.N.B. *et al.* Contribuições ao Debate Sobre as Eficiências de Pequenos e Grandes Reservatórios. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, p. 31–38, 2003.

CAMPOS, J.N.B. Modeling the Yield – Evaporation – Spill in the Reservoir Storage Process: The Regulation Triangle Diagram. **Water Resources Management**, v.24, p. 3487–3511, 2010.

CAMPOS, J.N.B. *et al.* Trade-off between reservoir yield and evaporation losses as a function of lake morphology in semi-arid Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n.88, v. 2, p.1113-1125, 2016.

CONTE, A. **Proposta metodológica para implementação do monitoramento comunitário da água como ferramenta de apoio à co/autogestão de recursos hídricos em pequenas e microbacias hidrográficas rurais**. p.93. Dissertação em programa de pós-graduação em engenharia ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

DELGADO, G.C.; BERGAMASCO. **Agricultura familiar brasileira: desafios e perspectivas de futuro**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2017.

DEORA, S.; NANORE, G. Socio economic impacts of Doha Model water harvesting structures in Jalna, Maharashtra. **Agricultural Water Management**, v. 221, n. December 2018, p. 141–149, 2019.

DE TRINCHERIA G.J. *et al.* Using Rainwater for Off-Season Small-Scale Irrigation in Arid and Semi-arid Areas of Sub-Saharan Africa: Key Working

Principles and Best Practices. Em: Leal Filho, W., De Trinchiera Gomez, J. (eds), **Rainwater-Smart Agriculture in Arid and Semi-Arid Areas**, ed. Springer, p. 9-36, 2018.

DEVINENI, N.; PERVEEN, S.; LALL, U. Assessing chronic and climate-induced water risk through spatially distributed cumulative deficit measures: A new picture of water sustainability in India. **Water Resources Research**, v. 49, n. 4, p. 2135–2145, 2013.

EMBRAPA. **Agricultura familiar dependente da chuva no semiárido**. Editores: Roseli Freire de Melo e Tadeu Vinhas Voltoni, Brasília, 2019.

EMBRAPA. **Barraginhas: água de chuva para todos**. Brasília, 2009.

ERIYAGAMA, N.; SMAKHTIN, V.; UDAMULLA, L. Reviews How much artificial surface storage is acceptable in a river basin and where should it be located: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 208, n. December 2019, p. 103294, 2020.

ERIYAGAMA, N.; SMAKHTIN, V.; UDAMULLA, L. Sustainable surface water storage development pathways and acceptable limits for river basins. **Water** (Switzerland), v. 13, n. 5, p. 1–25, 2021.

ERIYAGAMA, N.; SMAKHTIN, V.; UDAMULLA, L. Sustainable Surface Water Storage Development_ Measuring Economic Benefits and Ecological and Social Impacts of Reservoir System Configurations. **Water**, v. 14, n. 307, 2022.

FAO & WWC. **Towards a Water and Food Secure Future: Critical Perspectives for Policy-makers**. White paper, 2015, p. 61.

GHANSAH, B. *et al.* Mapping the spatial distribution of small reservoirs in the White Volta Sub-basin of Ghana. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 9, p. 107–115, 2018.

GHIMIRE, S. R.; JOHNSTON, J. M. Sustainability assessment of agricultural rainwater harvesting: Evaluation of alternative crop types and irrigation practices. **PLoS ONE**, v. 14, n. 5, p. 1–23, 2019.

GLENDENNING, C. J. *et al.* Balancing watershed and local scale impacts of rain water harvesting in India — A review. **Agricultural Water Management**, v. 107, p. 1–13, 2012.

GRUM, B. *et al.* A decision support approach for the selection and implementation of water harvesting techniques in arid and semi-arid regions Berhane. **Agricultural water management**, n.173, p. 35-47. 2016.

GUPTA, J. *et al.* The Adaptive Capacity Wheel: a method to assess the inherent characteristics of institutions to enable the adaptive capacity of society. **Environmental Science and Policy**, v. 13, n. 6, p. 459–471, 2010.

HABETS, F. *et al.* Small farm dams: impact on river flows and sustainability in a context of climate change. **Hydrology and earth system Science**, V.18, 4207–4222, 2014.

HABETS, F. *et al.* The cumulative impacts of small reservoirs on hydrology: A review. **Science of the Total Environment**, v. 643, p. 850–867, 2018.

HACHUM, AHMED; MOHAMMAD, M. E. Optimal Reservoir Sizing for Small Scale Water Harvesting System. **Journal of Al-Radidain Engineering**, v. 15, n. 3, p. 19, 2007.

HAI, M. **Water Harvesting: An illustrative Manual for Development of Micocatchment Techniques for Crop Production in Dry Areas**. Nairobi, Kenia. 1998.

HASSING, J. *et al.* **Integrated Water Resources Management in Action**. Paris: UNESCO. 2009.

HESSEL, R. *et al.* **Wahara Final Publishable Summary**. Water Harvesting for Rainfed Africa (WAHARA) Project, 41p. (Summary Report). 2016. Disponível em: <www.wahara.eu>.

HIPÓLITO, M. T. *et al.* **Alocação de Barraginhas com Uso de Modelagem Hidrológica e Geoprocessamento**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202093/1/bol-190.pdf>>.

KISAKYE, V.; BRUGGEN, B. VAN DER. Effects of climate change on water savings and water security from rainwater harvesting systems. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 138, p. 49–63, 2018.

LANNA, A. E. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA. 1995.

LASAGE, R.; VERBURG, P. H. Evaluation of small scale water harvesting techniques for semi-arid environments. **Journal of Arid Environments**, v. 118, p. 48–57, 2015.

LEPORATI, M. *et al.* **La agricultura familiar en cifras**. Food and Agriculture Organization (FAO), Costa Rica, 2014.

LINDOSO, D. P. *et al.* Harvesting water for living with drought: Insights from the Brazilian Human Coexistence with Semi-Aridity approach towards achieving the sustainable development goals. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 3, 2018.

LIMA, G. B. **Avaliação de métodos de manejo da irrigação em pequenas propriedades rurais de base familiar**. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2013.

LLOYD, B. J.; DENNISON, P. E. Evaluating the response of conventional and water harvesting farms to environmental variables using remote sensing. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 262, p. 11–17, 2018.

LOPES, M. **Avaliação de Racionalidades do Uso da Água na Agricultura: Desenvolvimento de Modelos Conceituais e de Procedimento Metodológico em Apoio à Co/Auto-Gestão de Microbacias**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria. 2011.

MACHIWAL, D.; KUMAR, S.; DAYAL, D. Evaluating Cost-Effectiveness of Rainwater Harvesting for Irrigation in Arid Climate of Gujarat, India. **Water Conservation Science and Engineering**, p. 289–303, 2018.7

MACIAS, M.A.C; SANCHEZ, I.C. Rainwater harvesting for multiple uses: a farm-scale case study. **International Journal of Environmental Science and technology**, v. 16, p. 5955-5964, 2019.

MALIK, R. P. S.; GIORDANO, M.; SHARMA, V. Examining farm-level perceptions, costs, and benefits of small water harvesting structures in Dewas, Madhya Pradesh. **Agricultural Water Management**, v. 131, p. 204–211, 2014.

MALVEIRA, V. T. C.; ARAÚJO, J. C. DE; GÜNTNER, A. Hydrological Impact of a High-Density Reservoir Network in Semiarid Northeastern Brazil. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 1, p. 109–117, 2012.

MARQUES, P. E. **Desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para alocação de água na agricultura irrigada em nível de microbacia hidrográfica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria. 2015.

MARÍN, U. C.; SCHNABEL, S.; PULIDO, M. F. Hydrological Characterization of Watering Ponds in Rangeland Farms in the Southwest Iberian Peninsula. **Water**, v. 12, p. 1038, doi:10.3390/w12041038, 2020.

MARTÍNEZ, L. A.; LÓPEZ, L. A. A.; LÓPEZ, R. A. Criteria for Planning the Agricultural Rainwater Harvesting Systems: A Review. **Applied science**, v. 9, 2019.

MATOMELA, N.; LI, T.; IKHUMHEN, H. O. Siting of Rainwater Harvesting Potential Sites in Arid or Semi-arid Watersheds Using GIS-based Techniques. **Environmental processes**, p. 22, 2020.

MASSUEL, S. *et al.* Inspiring a broader socio-hydrological negotiation approach with interdisciplinary field-based experience water resources research. **Advancing earth and space science**, p. 2510–2522, 2018.

MCCARTNEY, M. *et al.* **Agricultural water storage in an era of climate change: Assessing need and effectiveness in Africa**. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI), 37p. (IWMI Research Report 152). doi:10.5337/2013.207, 2013.

MCGINNIS, M. D.; OSTROM E. Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. **Ecology and Society**, v. 19, n. 2, art.30, 2014.

MELO, R. F., SIMOES, W. L., PEREIRA, L. A., BRITO, L. T., FERREIRA, E. P., BARROS, L. C., & RIBEIRO, P. E. Água para o fortalecimento dos sistemas agrícolas dependentes de chuva. Em EMBRAPA, **Agricultura Familiar Dependente de Chuva no Semiárido**, Brasília, 2019, p. 187-228.

MESHESHA, T. W.; KHARE, D. Towards integrated water resources management considering hydro-climatological scenarios: an option for sustainable development. **Environmental Systems Research**, v. 8, n. 1, 2019.

NGIGI, S.N. What is the limit of up-scaling rainwater harvesting in a river basin? **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 28, n. 20–27, p. 943-956, 2003.

NIKKELS, M. J. *et al.* Challenges in assessing the regional feasibility of local water storage. **Water International**, v. 44, n. 8, p. 854–870, 2019.

NISSEN-PETERSEN, E. **Water from Small Dams a handbook for technicians, farmers and others on site investigations, designs, cost estimates, construction and maintenance of small earth dams**. Nairobi: Danida. 2006.

OBERLACK, *et al.* Archetype analysis in sustainability research: meanings, motivations, and evidence-based policy making. **Ecology and society**, v. 24, n. 2, art. 26, 2019.

OGILVIE, A. *et al.* Socio-hydrological drivers of agricultural water use in small reservoirs. **Agricultural Water Management**, v. 218, p. 17–29, 2019.

PASSOS, H. D. B. **Indicadores de sustentabilidade: uma discussão teórico-metodológica aplicada a sistemas agroflorestais no Sul da Bahia**. 2008. 218 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2008.

PAYEN, J.; FAURÈS, J.; VALLÉE, D. **Small reservoirs and water storage for smallholder farming**: The case for a new approach. Food and Agriculture Organization (FAO) in the framework of the Agricultural Water Management Solutions (AgWater Solutions), Report, p. 60, 2012. Disponível em: <http://awm-solutions.iwmi.org/Data/Sites/3/Documents/PDF/publication-outputs/small-reservoirs-&-water-storage.pdf>.

PIEMONTESE, L. *et al.* Estimating the global potential of water harvesting from successful case studies. **Global Environmental Change**, v. 63, 2020.

PIEMONTESE, L. *et al.* Barriers to scaling sustainable land and water management in Uganda: a cross-scale archetype approach. **Ecology and Society**, v. 26, n. 3, 2021.

POLONI, D.M. **Desenvolvimento e aplicação de procedimento metodológico em suporte ao planejamento participativo para a redução de perda de solo em pequenas bacias hidrográficas com emprego da EUPS**. (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

RANA, V. K.; MARUTHI, T.; SURYANARAYANA, V. Annals of GIS GIS-based multi criteria decision making method to identify potential runoff storage zones within watershed. **Annals of GIS**, p. 1–20, 2020.

RODRIGUES, L. N.; LIEBE, J. Small reservoirs depth-area-volume relationships in Savannah Regions of Brazil and Ghana. **Water Resources and Irrigation Management**, n. 2, p. 1–10, 2013.

RODRIGUES, L. N. Água, seu papel na agricultura e os desafios na sua gestão. Em Instituto Fórum do Futuro (Organização), **As soluções sustentáveis que vêm dos trópicos: desenvolver sem desmatar por um novo pacto global do alimento**, Ed. Garcia, Juiz de Fora, MG: Garcia. (2022).

RUFIN, P. *et al.* Global-scale patterns and determinants of cropping frequency in irrigation dam command areas. **Global Environmental Change**, v. 50, p. 110–122, 2018.

SALCEDO, S.; DE LA O, A. P.; GUZMÁN, L. El concepto de agricultura familiar en América latina y el Caribe. Em Salcedo e Guzmán, **Agricultura familiar en america latina y el caribe: recomendaciones de política**. FAO, 2014, p. 17-34.

SAMPAIO, F. *et al.* Modelling the impact of on-farm reservoirs on dry season water availability in an agricultural catchment area of the Brazilian savannah. **Agricultural Water Management**, v. 241, n. May, p. 106296, 2020.

SAYL, K.; ADHAM, A. A GIS-Based Multicriteria Analysis in Modeling Optimum Sites for Rainwater Harvesting. **Hydrology**, v.7, n.51, p.14, 2020.

SCHAAFSMA, M.; UTILA, H.; HIRONS, M. A. Understanding trade-offs in upscaling and integrating climate-smart agriculture and sustainable river basin management in Malawi. **Environmental Science and Policy**, v. 80, n. November 2017, p. 117–124, 2018.

SCOTT, CHRISTOPHER; SILVA, P. Collective action for water harvesting irrigation in the Lerma-Chapala Basin, Mexico. **Water Policy**, v. 3, p. 555–572, 2001.

SEKAR I.; RANDHIR, T.O. Spatial assessment of conjunctive water harvesting potential in watershed systems. **Journal of Hydrology**, v. 334, n. 1-2, p 39-52, 2007.

SESAN. **Modelo da tecnologia social de acesso à água N°21: Cisterna calçadão de 52.000 litros com serviço de acompanhamento familiar**. Anexo da Instrução Operacional SESAN nº 15, p. 33, 2017.

SHADEED, S.; JUDEH, T.; RIKSEN, M. Rainwater Harvesting for Sustainable Agriculture in High Water - Poor Areas in the West Bank, Palestine. **Water**, v. 12, n. 380, p. 2–16, 2020.

SHINDE, M. **Optimization of Tank Irrigation Systems in Tropics Humid Sub Arid Semi Watersheds of and Sub Humid Tropics**. Tese -Loughborough University, London .2006.

SHINDE, M.; GORANTIWAR, S.; SMOUT, I. Design and performance indicators for water harvesting irrigation tanks in India. **30th WEDC International Conference**, Vientiane, Lao PDR, 2004, n. 1990, p. 398–404, 2004.

SHINDE, M.; SMOUT, I; GORANTIWAR, S. D. Algorithms for sizing reservoirs for rainwater harvesting and supplementary irrigation. **Hydrology: Science & Practice for the 21st Century**, v. II, p. 480–486, 2004.

SIVAPALAN, M.; SAVENIJE, H. H. G.; BLÖSCHL, G. Socio-hydrology: A new science of people and water. **Hydrological Processes**, v. 26, n. 8, p. 1270–1276, 2012.

SRINIVASA RAO, C. *et al.* Farm ponds for climate-resilient rainfed agriculture. **Current Science**, v. 112, n. 3, p. 471–477, 2017.

SRIVASTAVA, R. C. Methodology for Optimizing Design of Integrated Tank. **Journal of water resources planning and management**, v. 122, n. December, p. 394–402, 1996.

SRIVASTAVA, R. C. Methodology for design of water harvesting system for high rainfall areas. **Agricultural Water Management**, v. 47, p. 37–53, 2001.

STEPHENS, T. **Manual on Small Earth Dams. A Guide to Siting, Design and Construction**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 124, 2010.

TEIXEIRA, E. *et al.* Experiências em Gestão dos Recursos Hídricos por Bacia Hidrográfica Projeto Sossego: Integrando Experiências De Gestão De Recursos Hídricos E Desenvolvimento Sustentável Local. **Simpósio "Experiências em Gestão dos Recursos Hídricos por Bacia Hidrográfica"**. São Pedro-SP. 2007.

TEODORO, L. *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v. 20, p. 137–156, 2007.

TIGABU, T. B. *et al.* Modeling the impact of agricultural crops on the spatial and seasonal variability of water balance components in the Lake Tana basin, Ethiopia. **Hydrology Research**, p. 1–22, 2019.

TUCCI, C.; MENDES, A.G. **Avaliação Ambiental integrada de bacias hidrográficas**, Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA, p.302, 2006.

UNEP. **Rainwater Harvesting: a lifeline for human well-being**; A report prepared for UNEP by Stockholm Environment Institute. UNEP, Nairobi, Kenya, 2009.

USAID. **Agricultural Water Management**: Water and development Strategy. Implementation Brief. 2015

VAIDYA, R. A. Governance and management of local water storage in the Hindu Kush Himalayas. **Water resources development**, v. 31, n. 2, p. 253–268, 2015.

VAN-WAMBEKE, J.; PRIETO-CELI, M.; VIEYRA, M. J. **Captación y almacenamiento de agua de lluvia**. FAO. Santiago, Chile, 2013.

VAN DER ZAAG, P.; GUPTA, J. Scale issues in the governance of water storage projects. **Water Resources Research**, v. 44, n. 10, p. 1–14, 2008.

VAN METER, K. J. *et al.* The socioecohydrology of rainwater harvesting in India: Understanding water storage and release dynamics across spatial scales. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 20, n. 7, p. 2629–2647, 2016.

VENOT, J.-P.; DE FRAITURE, C.; ACHEAMPONG, E. N. **Revisiting Dominant Notions: A Review of Costs, Performance and Institutions of Small Reservoirs in Sub-Saharan Africa**. IWMI. 2012

VICO, G.; TAMBURINO, L.; ROBERT, J. Designing on-farm irrigation ponds for high and stable yield for different climates and risk-coping attitudes. **Journal of Hydrology**, v. 584, p. 12, 2020.

WARD, S; BUTLER, D. Rainwater Harvesting and Social Networks: Visualising Interactions for Niche Governance, Resilience and Sustainability. **Water**, 8, 526, 2016.

WANG, Y.; TIAN, Y.; CAO, Y. Dam Siting: A Review. **Water**, v.13, p.21, 2021.

WIATKOWSKI, M. *et al.* Assessment of the possibility of implementing small retention reservoirs in terms of the need to increase water resources. **Archives of Environmental Protection**, v. 47, n. 1, p. 80–100, 2021.

WISSER, D. *et al.* The significance of local water resources captured in small reservoirs for crop production – A global-scale analysis. **Journal of Hydrology**, v. 384, n. 3, p. 264–275, 2010.

ZAKARIA, S. *et al.* Estimation of annual harvested runoff at Sulaymaniyah Governorate, Kurdistan region of Iraq. **Natural Science**, v. 05, n. 12, p. 1272–1283, 2013.

ZAMIGNAN, G. **Gestão integrada de recursos hídricos: desenvolvendo capacidades para a construção de visão sistêmica sobre gestão das águas**. 2018. 312 pp. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/34866>.

ZIADAT, F.; BRUGGEMAN, A. Arid Land Research and Management A Participatory GIS Approach for Assessing Land Suitability for Rainwater Harvesting in an Arid Rangeland Environment. **Arid Land Research and Management**, v. 26, n. 4, p. 297–311, 2012.

APÊNDICES

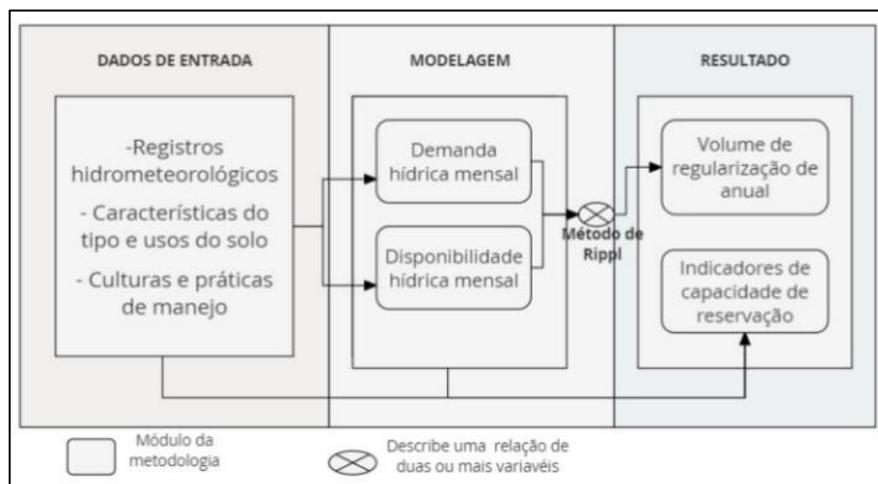
APÊNDICE A – BASE DE DADOS E TRATAMENTO DE INFORMAÇÕES PARA CARACTERIZAÇÃO DAS COMPONENTES CAPTAÇÃO (CAP) E IRRIGAÇÃO (IRR)

Este anexo tem como finalidade mostrar de onde saíram os dados empregados na pesquisa. Para isso utilizaram-se os resultados da aplicação do procedimento metodológico proposto por Albán (2018) na bacia do Córrego Sossego. Nesse apêndice: se descreve o procedimento metodológico de Albán (2018), a base de dados e os resultados das séries de disponibilidade e demanda para o sistema.

A1. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA DETERMINAR A CAPACIDADE DE RESERVAÇÃO HÍDRICA DE REGIÕES

A procedimento metodológico é capaz de avaliar a capacidade hídrica de reserva para subsidiar o dimensionamento de SAAIAF coletivo em pequenas bacias hidrográficas. Na Figura A1, é apresentado o fluxograma do procedimento metodológico.

Figura A1. Procedimento proposto para subsidiar o dimensionamento da capacidade de armazenamento de SAAIAF.



Fonte: Albán (2018)

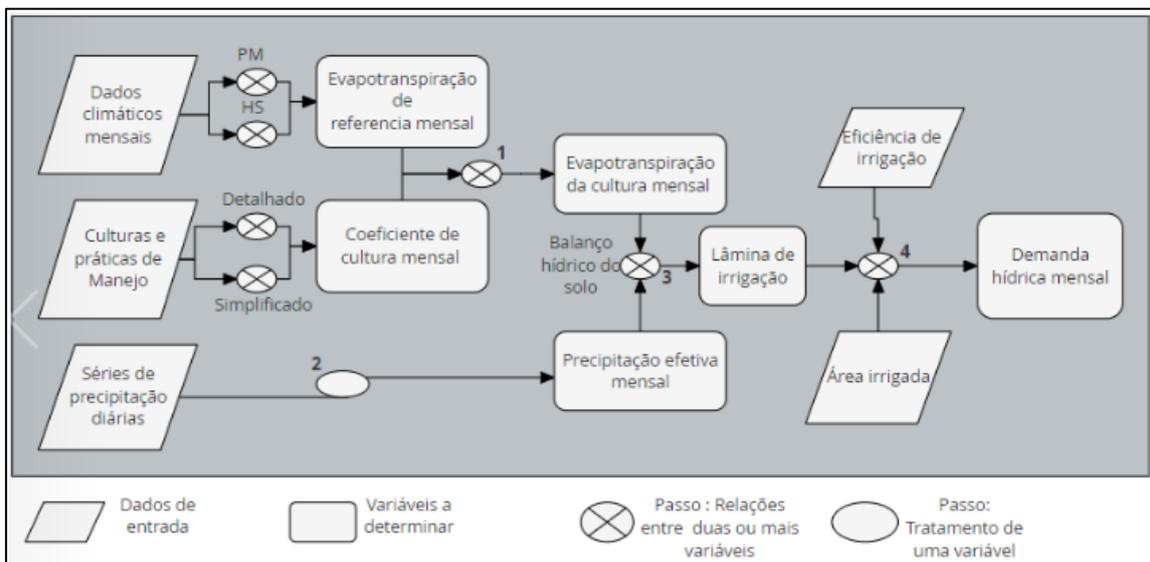
Como representado no fluxograma: Primeiramente, devem ser adquiridas informações sobre características hidro-agroclimáticas; logo, são propostos métodos para determinar a partir das informações de entrada, as séries mensais de disponibilidade e demanda hídricas do SAAIAF; e por último, se aplica o método de Rippl para determinar o volume de regularização (VR). A metodologia também propõe indicadores para avaliar a capacidade de reserva da região.

Nas figuras A2 e A3, se representam os passos metodológicos para determinar as séries de demanda e disponibilidade hídrica, respectivamente.

A1.1 Determinação da demanda hídrica de irrigação

O fluxograma da Figura A2 apresenta os passos para determinar a demanda hídrica do SAAIAF, por médio do método da FAO. Os passos para obter a série mensal de demanda hídrica são representados com o símbolo de uma bolinhama bolinha marcada com 'x', os quais são descritos na sequência:

Figura A2. Fluxograma para determinar a demanda hídrica de irrigação de SAAIAF



Fonte: Albán (2018)

Passo 1. Determinar o Evapotranspiração da cultura – Para isso, considera-se o método do coeficiente de cultivo, que permite estimar a evapotranspiração do cultivo (ET_c) como sendo o produto entre a evapotranspiração de referência (ET_0) e o coeficiente de cultura (k_c). Na proposta metodológica são realizadas sugestões de como determinar ET_0 (pelo método de Penman Monheit e Hargreaves Samani) e k_c (pelo método simplificado e detalhado).

$$ET_c = k_c * ET_0$$

Passo 2. Determinação de precipitação efetiva - Para isso, a metodologia considera o conceito de precipitação provável mensal utilizado pela ANA (2014). Por um lado, é considerada uma precipitação específica de ocorrência com base

em séries históricas; e, por outro, a parte da precipitação que fica disponível para os cultivos.

$$P_{ef} = \begin{cases} P(80) * \frac{(125 - 0,2 * P(80))}{125}; & P(80) < 250 \\ 125 + 0,1 * P(80); & P(80) > 250 \end{cases}$$

$P(80)$ é a precipitação com um nível de garantia de ser igualada ou superada em 80%.

Passo 3. Determinação da lâmina de irrigação das culturas – Para isso o método propõe utilizar o balanço hídrico para determinar o volume e a frequência de irrigação

$$LI = \frac{ET_c - P_{eff}}{\text{Eficiência de irrigação}}$$

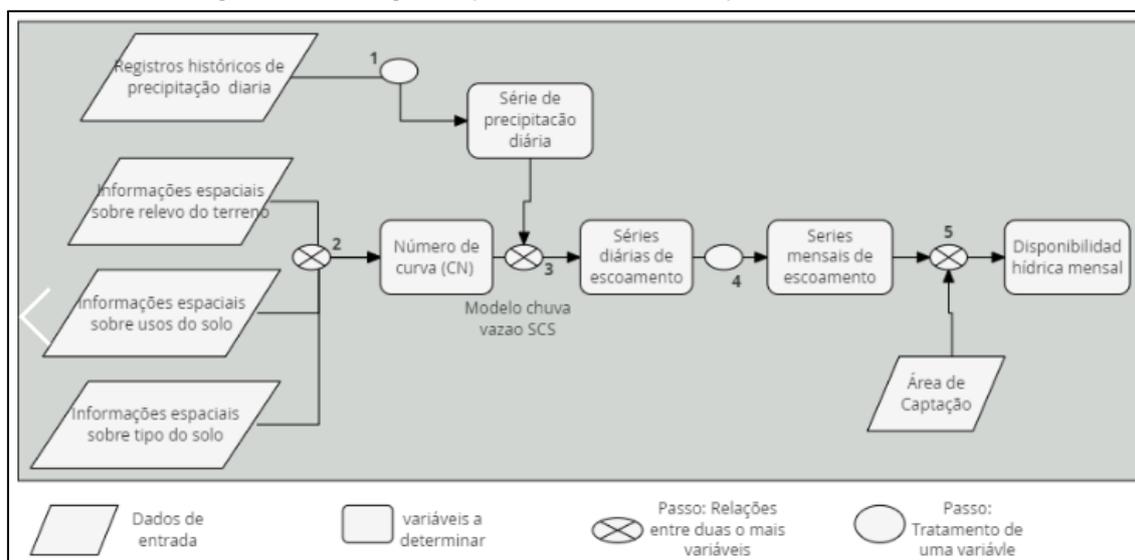
Passo 4. A partir da lâmina de irrigação e da área irrigada se obtêm o volume de água demandada para o plantio em intervalos mensais.

$$D = A_{IRR} \times LI$$

A.1.2 Determinação da disponibilidade hídrica para armazenamento

O fluxograma da Figura A3 apresenta os passos para determinar a disponibilidade hídrica do SSAIAF, por meio do método do número de curva (CN) do *Soil Conservation Service* (SCS), com o símbolo de uma bolinha, os quais são descritos na sequência:

Figura A3. Fluxograma para determinar a disponibilidade hídrica



Fonte: Albán (2018)

Passo 1: Selecionar a série de precipitação de intervalo diário

Passo 2: Determinar o CN considerando a classificação de grupos hidrológicos do solo (GHS) regionais, os usos do solo, a umidade antecedente e a declividade do terreno.

Passo 3: Aplica-se o modelo chuva-vazão CN-SCS, que calcula a capacidade máxima de armazenamento de água no solo S [mm] e o potencial de chuva excedente que, efetivamente, contribui para o escoamento superficial direto, Q , em mm, em função de CN e da lâmina de precipitação de um evento P em [mm].

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}, \text{ onde } S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Passo 4: Agregação da série diária de Q no intervalo de tempo mensal.

Passo 5: O volume mensal disponível para armazenamento é equivalente ao produto entre Q e a ACAP.

$$O = A_{cap} \times Q$$

A.1.3 Volume de regularização

O volume de regularização (VR) é aquele programado para ser retirado anualmente do sistema de reservação, sempre que houver disponibilidade. Para

determinar o valor podem ser empregados métodos de balanço hídrico entre a disponibilidade e a demanda hídrica como o método de Rippl ou o de picos sequenciais.

A2. BASES DE DADOS

Foi utilizada uma série de dados de precipitação diária consistidos da estação de Itarana (código: 1940000), localizada na longitude 40.87°S e latitude 19.87°W, disponíveis na base de dados da Agência Nacional das Águas (ANA), através do portal hidroweb (hidroweb.ana.gov.br/), de período de 1975 a 2005.

Os dados de temperatura mensal (média, mínima e máxima) e de precipitações médias mensais foram obtidos da estação de Itarana do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper²⁵, com código. Também foram consultadas informações secundárias da evapotranspiração de referência (ET₀) mensal de Itarana, disponível na planilha de irrigação da ANA (2013) para o município de Itarana.

Os dados pedológicos utilizados foram obtidos do trabalho de Poloni (2010), que utilizou informações do RADAMBRASIL e do GEARH-NES (2003) e de imagens de satélite Landsat de baixa resolução. Isso, para redefinir os limites espaciais das classes de solo diagnosticadas através de análises físico-químicas e de perfis de solo feitas por GEARH-NES (2003). Foi destacada a presença de argissolos e latossolos na bacia, que segundo a classificação Brasileira de solos (SARTORI; NETO; GENOVEZ, 2005) se enquadram nos grupos hidrológicos de solos B e A, respectivamente.

As informações de uso e ocupação do solo foram extraídas do último mapeamento digital do estado do Espírito Santo e da campanha de campo realizada por Batista (2016). A partir do mapa, foram identificados 30 tipos de cultivos diferentes na bacia, sendo assinaladas, além das culturas individuais, as áreas para preparo e as áreas denominadas como mix (muitas culturas em pequenas áreas de irrigação).

²⁵ Analisaram as séries da estação desativada do INMET (cod:1940043) do período de 1977 a 2005

O Modelo Digital de Terreno foi obtido do mapeamento digital realizado no estado do Espírito Santo realizado no ano de 2012, com resolução de 25m².

Foi utilizada uma eficiência de 85% já que foi estimada no trabalho de Daré (2013), que fez o levantamento dos sistemas de irrigação da bacia.

A3. TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES

A3.1 Determinação da demanda hídrica de irrigação

Passo 1. Para determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi utilizado: 1. o método de Hargreaves Samani para determinar ET_0 com as medias mensais multianuais de precipitação e temperatura mínima, média e máxima do Incaper e 2. o método detalhado para estimar o k_c .

Para usar o método detalhado foi necessário calcular um k_c para cada uma das culturas representativas da bacia do Córrego Sossego. Para isso foram classificadas as culturas identificadas no mapa do uso de solo em culturas representativas (Cana de açúcar, Banana, Café, frutíferas, vegetais, tubérculos, cereais, mix e áreas de preparo). Cabe destacar que para determinar o k_c mensal das categorias mix e as área de preparo foi assumido o método simplificado. Para as demais culturas adotou-se um k_c para cada fase de desenvolvimento utilizando os coeficientes e durações de culturas da base de dados da FAO. Se utilizou o *software Cropwat* - considerando que a data de plantio foi ao início do ano (1 de janeiro) para todas as culturas, e para as culturas temporais (vegetais, tubérculos e cereais) assumiu-se que o segundo ciclo inicia no médio do ano (1 de julho) - que determinou um k_c para cada tipo de cultura para 10 dias, posteriormente o k_c se agregou para obter um valor mensal, e logo ponderou-se em função do % de ocupação de cada categoria na bacia do Córrego Sossego (ver Tabela A1).

Tabela A1. Informações dos k_c mensais para as culturas representativas do Córrego Sossego, a partir das informações obtidas do mapa do uso do solo.

Tipo	Cultura	%Area	Meses do Ano											
			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Anuais	Cana de Açúcar	0.50%	0.4	0.63	1.01	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
	Banana	17.40%	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Perenes	Café	58.10%	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	Frutíferas (70% cobertura vegetativa)	8.40%	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Temporais	Vegetais	2.70%	0.72	0.98	1.03	0.32	-	-	0.72	0.99	1.04	0.32	-	-
	Tubérculos (papa)	2.90%	0.51	0.94	1.13	1.04	0.26	-	0.51	0.96	1.16	1.04	0.26	-
	cereais (milho)	1.50%	0.35	0.95	1.18	0.88	0.14	-	0.35	0.97	1.21	0.99	0.12	-
	mix	6.10%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	área de preparo	2.40%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Adaptado de (Albán, 2018)

Passo 2: Com base as séries diárias de precipitação estação de Itarana (código: 1940000), se determinou a precipitação efetiva mensal (P_{eff}).

Passo 3: Com as informações de ET_c e P_{eff} mensal, se determino a lâmina de irrigação (LI) mensal, assumindo que o sistema de irrigação tem uma eficiência de 85%.

Passo 4. Calculou-se a área de irrigação (A_{irr}) como a somatória das áreas das culturas identificados no mapa do uso de solo. O valor da A_{irr} foi multiplicado pela série da lâmina de irrigação para obter as séries mensais do volume de água demandado.

A3.2 Determinação da disponibilidade hídrica para armazenamento

Passo 1. Utilizou-se a série histórica de precipitação diária da estação de Itarana para executar o modelo chuva-vazão.

Passo 2. Para determinar CN foram classificados os solos da bacia (pelo tratamento do mapa de tipos de solos) em grupos hidrológicos de solos (GHS), segundo a classificação para solos brasileiros (SARTORI; NETO; GENOVEZ, 2005). Em seguida foram cruzadas as informações do mapa de usos de solos com a classificação dos GHS, para definir o número de curva em condições normais CN II (NRCS, 2004), o qual é então corrigido pelas condições de umidade antecedente do solo (AMC) – definidas com base na precipitação total ocorrida nos cinco dias antecedentes ao evento estudado para cada registro de precipitação - e pela declividade do terreno (incl) – estimada pelo tratamento do modelo digital de elevação do terreno (MDE) no software Arcgis 10.1. Relações expressadas nas seguintes equações:

$$CN I = \frac{4,2 CN II}{10 - 0,058 CN II}; \quad CN III = \frac{23 CN II}{10 + 0,13 CN II}$$

Em que CN I, CN II e CN II, refere-se ao CN nas condições de umidade antecedente para condições de seca, normal e úmidas, respetivamente.

$$CN = \frac{CN III - CN II}{3} * [1 - 2 * \exp(-13,86 * incl)] + CN II$$

(11)

onde *incl* corresponde à declividade do terreno em %, valor obtido no tratamento do MDE.

Passo 3. Foi aplicado o modelo chuva-vazão para gerar a série diária de escoamento superficial ao longo dos registros de precipitação que, posteriormente, foi agregada e transformada em série mensal multianual.

Passo 4. A área de captação (A_{CAP}) foi determinada como a diferença entre a área da bacia e A_{irr} . O valor da A_{CAP} foi multiplicado pela série mensal multianual de escoamento para obter as séries mensais do volume de água disponível para armazenamento.

A3.3 Volume de regularização

Para determinar o volume de regularização, utilizou-se o método do Rippl, representado pelas equações:

$$V_t = D_t - O_t$$

$$V_R = \sum_1^{12} V_t \text{ para } V_t > 0$$

onde V_t [m^3] é o volume acumulado para reservação no tempo t , D_t [m^3] é a demanda para irrigação no tempo t , O_t [m^3] é a disponibilidade hídrica no tempo t [m^3], e t representa os meses do ano (de 1 a 12).

A4. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO NA BACIA DO CÓRREGO SOSSEGO

A4.1 Determinação da demanda hídrica de irrigação

Na Tabela A2 são apresentados os resultados dos passos para determinação da série de demanda hídrica de irrigação (D). Os valores anuais de LI e D foram de aproximadamente 664 mm e $8,2 \cdot 10^6 m^3$, respectivamente, para um A_{irr} de 1231 ha.

Tabela A2. Séries mensais de variáveis resultantes para determinar a demanda hídrica de irrigação de SAAIAF. Os valores de k_c , ET_0 em [mm] e ET_c em [mm] estão relacionados aos

resultados do passo 1; P_{eff} em [mm], do passo 2; LI em [mm], do passo 3; e D em [$10^6.m^3$] do passo 4.

VAR.	mês											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
k_c	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9
ET_0	139.4	141.2	126.5	105.1	86.4	76.4	79.3	93.0	108.1	123.7	127.4	131.6
Et_c	133.6	139.5	126.6	102.5	80.6	70.6	76.4	92.3	108.4	120.8	118.9	121.5
P_{eff}	112.8	72.2	85.2	50.2	26.8	16.4	12.3	17.7	25.7	67.5	119.1	132.5
LI	24.5	79.3	48.7	61.6	63.3	63.7	75.4	87.7	97.4	62.8	0.0	0.0
D	0.30	0.98	0.60	0.76	0.78	0.78	0.93	1.08	1.20	0.77	0.00	0.00

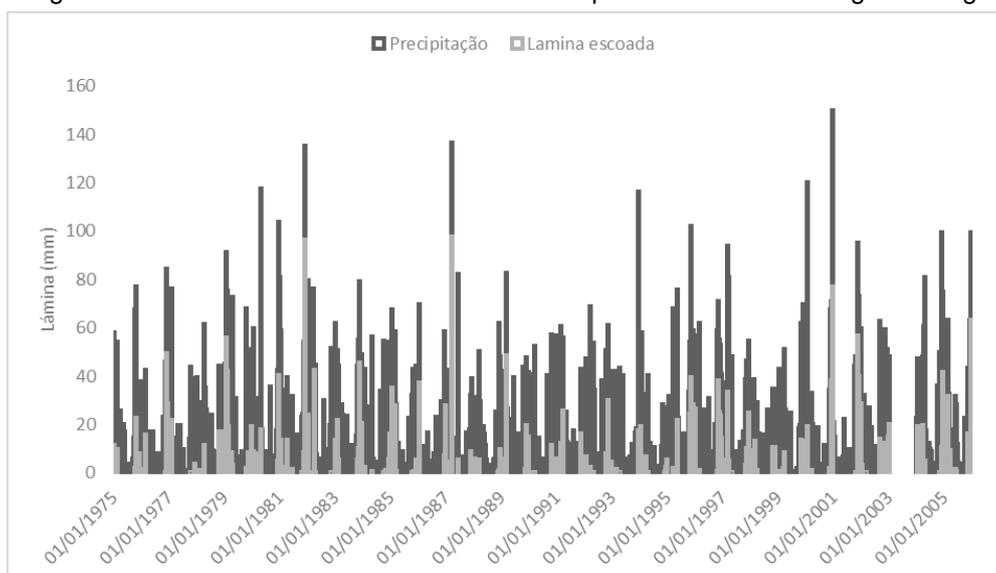
Adaptado de Albán (2018)

A4.2 Determinação da disponibilidade hídrica para armazenamento

Os resultados dos parâmetros envolvidos na determinação da disponibilidade hídrica são: 6.219 e 4.988 ha para a área da bacia e A_{CAP} , respectivamente; 16,34% para declividade média da bacia (incl); 66,8 e 70,9 para o CN para condiciones normais e o CN corregido pela declividade do terreno, respectivamente.

A Figura A4 representa as séries dos registros de precipitação e escoamento resultante do modelo chuva-vazão para o período de 1975 a 2005. A bacia mostrou uma precipitação média anual de 1158 mm e Q meia anual de 107 mm. Na Tabela A3 são apresentados os valores mensais multianuais de Q, e os valores de O. Segundo esses resultados o volume disponível anual para armazenamento é de $5,2 \cdot 10^6 m^3$.

Figura A4. Resultados do modelo chuva-vazão para a bacia do Córrego Sossego



Fonte: Albán (2018)

Tabela A3. Séries de variáveis de escoamento e volume disponível de armazenamento mensal, Q em [mm] e O em [$10^6.m^3$]

VAR.	mês											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Q	20.88	8.86	12.79	2.07	0.71	0.17	0.00	0.00	0.46	3.11	28.09	31.37
O	1.04	0.44	0.64	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02	0.15	1.40	1.56

Adaptado de Albán (2018)

7.1.1 A4.3 Determinação da disponibilidade hídrica para armazenamento

A partir das séries mensais de demanda e disponibilidade, o volume de regularização resultante para a bacia do Córrego Sossego corresponde a $6,53 * 10^6 m^3$.

A5. REFERENCIAS

BATISTA, N. L. F. **Utilização de indicadores de erosão hídrica e qualidade de solos na promoção da produção agrícola sustentável em pequena/microbacia hidrográfica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria-ES, 2016.

DARÉ, J. C. **Sistemas De Irrigação Na Bacia Do Córrego Sossego Em Itarana**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2013.

GEARH – Grupo de Estudos e Ações em Recursos Hídricos. **Desenvolvimento de instrumento para a gestão de recursos hídricos no Norte do Espírito Santo**. GEARH-DEA-CT-UFES. Relatório Final – MCT/FINEP/CT-HIDRO, V.1, 2003

NRCS- Natural Resources Conservation Service. Hydrologic Soil-Cover Complexes. In: **Part 630 Hydrology National Engineering Handbook**. (US Department of Agriculture). Washington DC, 20 p., 2004.

POLONI, D.M. **Desenvolvimento e aplicação de procedimento metodológico em suporte ao planejamento participativo para a redução de perda de solo**

em pequenas bacias hidrográficas com emprego da EUPS. (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; LOMBARDI NETO, F. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. ***Revista Brasileira de Recursos Hídricos***, v. 10, n. 4, p. 19–29, 2005.