INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Quadro da SADC Para a Recolha e Gestão de Dados Sobre Águas Subterrâneas

Abril 2019

igrac
International Groundwater Resources Assessment Centre

UFS
UV

Este relatório emana do projecto de Capacitação Para a Recolha e Gestão de Dados sobre Águas Subterrâneas nos Estados Membros da SADC (GWdataCoM) encomendado pelo Instituto de Gestão das Águas Subterrâneas da Comunidade de Desenvolvimento da África Austral (SADC-GMI), e executado pelo Centro Internacional de Avaliação de Recursos de Águas Subterrâneas (IGRAC) e Instituto de Estudos de Águas Subterrâneas (IGS).

INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (SADC-GMI)
Dean Street, Universidade do Estado Livre
205 Nelson Mandela Drive,
Bloemfontein, 9300
África do Sul
E-mail info@sadc-gmi.org Website www.sadc-gmi.org

Equipa de projecto:
Geert-Jan Nijsten (Chefe de Equipa), IGRAC
Arnaud Sterckx, (Investigador), IGRAC
Modreck Gomo, (Investigador), IGS
Eelco Lukas (Chefe de Equipa Adjunto), IGS

© SADC-GMI, 2019
Caixas, Tabelas, Figuras, Mapas, Fotos e Ilustrações, conforme especificado

Esta obra está licenciada sob uma Licença Internacional Creative Commons Attribution-ShareAlike (CC BY-SA).
Ver https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode

Este relatório está acessível online através do website da SADC-GMI: www.sadc-gmi.org

Citação: SADC-GMI, IGRAC, IGS (2019) Quadro da SADC Para a Recolha e Gestão de Dados Sobre Águas Subterrâneas. Relatório da SADC-GMI: Bloemfontein, África do Sul.

A designação de entidades geográficas, utilização de qualquer nome nesta publicação, e a apresentação do material não implicam a expressão de qualquer opinião por parte da SADC-GMI, IGRAC ou IGS relativamente ao estatuto legal de qualquer país ou território, ou área da sua autoridade, ou relativamente à delimitação das suas fronteiras ou fronteiras.

Editorial e Layout: Centro de Investigação e Documentação da África Austral (SARDC)

Índice

Tabelas v
Figuras v
Caixas vi
Acrónimos vii
Agradecimentos viii
Resumo Executivo ix

1 INTRODUÇÃO 1
1.1. Fundamentação para o Quadro da SADC Para a Recolha e Gestão de Dados 1
1.2 Objectivos e Âmbito do Quadro 3
1.3 Posição do Quadro em Relação aos Processos Regionais 4
1.4 Público-alvo para o Quadro 6
1.5 Desenvolvimento do Quadro 7
1.6 Esboço do Relatório 8

2 NECESSIDADES DE DADOS PARA UMA AVALIAÇÃO E GESTÃO INTEGRADAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 9
2.1 Introdução 9
2.2 Necessidades de Dados 10
2.3 Mensagens Principais 12

3 DADOS ESSENCIAIS DE SONDAGENS, PERFURAÇÕES E TESTES 13
3.1 Introdução 13
3.2 Dados Relevantes Sobre a Localização de Furos, Perfuração e Testes 13
3.3 Estratégias para Incentivar a Participação das Partes Interessadas na Obtenção de Dados Essenciais 19
3.4 Mensagens Principais 22

4 ASPECTOS ORGANIZACIONAIS E DE PLANEAMENTO DA MONITORIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 23
4.1 Introdução 23
4.2 Objectivos e Escalas da Monitorização das Águas Subterrâneas 23
4.3 Desenvolver um Programa de Monitorização 27
4.4 Avaliação dos Programas de Monitorização Existentes 37
4.5 Monitorização das Águas Subterrâneas com Base na Comunidade 38
4.6 Mensagens Principais 39

5 GARANTIA E CONTROLO DA QUALIDADE DOS DADOS 40
5.1 Introdução 40
5.2 Medidas Gerais para Reduzir Erros e Melhorar a Colecta Consistente de Dados 40
5.3 Controlo de Qualidade e Garantias de Qualidade do Escritório 44
5.4 Mensagens Principais 47

6 ARMAZENAMENTO DE DADOS 48
6.1 Introdução 48
6.2 Conceitos de Base de Dados e Funcionalidades Importantes 49
6.3 Opção de Base de Dados em Folha de Cálculo 52
6.4 Base de dados relacional - Opção de Desktop 54
6.5 Base de dados relacional - Opção baseada no servidor 55
6.6 Mensagens Principais 58

7 PARTILHA E ACESSO AOS DADOS 59

7.1 Introdução 59
7.2 A importância da Partilha de Dados e Informações 59
7.3 Partilha Inteligente de Dados 62
7.4 Mensagens Principais 67

8 TRADUZINDO DADOS EM INFORMAÇÃO **68**
8.1 Introdução 68
8.2 O que é Informação Relevante sobre as águas subterrâneas? 68
8.3 Organização da Análise e Interpretação de Dados 70
8.4 Visar o Público Certo 70
8.5 Reavaliação e Melhoria da Recolha e Gestão dos Dados 71
8.6 Mensagens Principais 71

9 PLANEAMENTO ORÇAMENTAL **72**
9.1 Introdução 72
9.2 Perfuração e teste de furos 72
9.3 Monitorização das águas subterrâneas 74
9.4 Gestão de Dados 78
9.5 Iniciativas de angariação de fundos 80
9.6 Mensagens Principais 81

10 ASPECTOS INSTITUCIONAIS NACIONAIS E TRANSFRONTEIRIÇOS **82**
10.1 Introdução 82
10.2 Divisão de funções a nível nacional 82
10.3 Disposições Transfronteiriças e Internacionais 84
10.4 Mensagens Principais 87

REFERÊNCIAS **88**

ANEXOS **92**
Anexo A Procedimentos de colocação de furos *A1*
Anexo B Procedimentos de Perfuração e Supervisão de Furos *B2*
Anexo C Teste de furos *C1*
Anexo D Aplicações de telemóveis para recolha de dados sobre águas subterrâneas *D1*
Anexo E Leitura recomendada *E1*

Tabelas

Tabela 2.1 Dados a recolher para a avaliação de aquíferos transfronteiriços 11
Tabela 3.1 Passos do processo de sondagem com dados e informações recolhidos em cada passo 14
Tabela 3.2 Passos no processo de perfuração de furos com dados e informações recolhidos em cada passo 17
Tabela 3.3 Um resumo das principais etapas e expectativas dos testes de bombagem do aquífero 19
Tabela 4.1 Classificação das redes de monitorização das águas subterrâneas com base nos objectivos de monitorização 25
Tabela 4.2 Exemplo de necessidades de dados de diferentes fontes de dados para objectivos específicos 32
Tabela 4.3 Considerações para reter ou remover um poço de uma rede de monitorização da qualidade das águas subterrâneas 37
Tabela 4.4 Considerações sobre a alteração da frequência da amostragem das águas subterrâneas 37
Tabela 5.1 Exemplos de orientações sobre a recolha de dados relativos às águas subterrâneas 41
Tabela 5.2 Papéis dos actores envolvidos nos processos de recolha de dados sobre águas subterrâneas 43
Tabela 6.1: Visão geral das funcionalidades da base de dados e requisitos organizacionais para diferentes opções de base de dados 56
Tabela 9.1 Aspectos principais a considerar ao calcular os custos de levantamento geofísico para a localização de um furo 73
Tabela 9.2 Aspectos principais a considerar ao calcular os custos da perfuração de um furo 73
Tabela 9.3 Aspectos principais a considerar ao calcular os custos para os testes de perfuração 74
Tabela 9.4 Exemplo de tabela para o cálculo dos investimentos para diferentes opções de programas de monitorização 75
Tabela 9.6 Aspectos principais a considerar ao calcular os custos da amostragem de águas subterrâneas 77
Tabela 9.7 Aspectos principais a considerar ao calcular os custos da monitorização do nível das águas subterrâneas 77
Tabela 9.8 Aspectos principais a considerar na determinação de custos para a monitorização da utilização de águas subterrâneas 78
Tabela 9.9 Custo incorrido usando uma única opção de armazenamento de dados em ficheiro 79
Tabela 9.10 Custos incorridos com a utilização de uma opção de armazenamento de dados do servidor SQL 80
Tabela C1 Um resumo hidráulico e parâmetros dos aquíferos que podem ser estimados a partir da análise dos dados do teste de bombagem 98
Tabela C2: Um resumo das principais etapas e expectativas dos testes de bombagem de aquíferos 98
Tabela D1 Descrição das aplicações para telemóveis relevantes para a recolha de dados sobre águas subterrâneas 100

Figuras

Figura 1.1 Posição do Quadro no âmbito dos instrumentos existentes da SADC sobre águas subterrâneas 3
Figura 1.2 Resumo do Quadro de Referência 8
Figura 3.1 Exemplo de registo litológico da perfuração de furos e modelo hidrogeológico conceptual, interpretado a partir dos resultados da perfuração 17
Figura 4.1 Sinergias entre diferentes programas de monitorização 26
Figura 4.2 Esquema para a concepção de um programa de monitorização das águas subterrâneas 29
Figura 4.3 Perfis de nível de água subterrânea em dois aquíferos sobrejacentes 31
Figura 4.4 Factores a considerar ao determinar a frequência da monitorização do nível das águas subterrâneas 33
Figura 6.1 Modelo conceptual do sistema de gestão de dados das águas subterrâneas 48
Figura 6.2 Exemplo do quadro de base de dados no MS Access com relações entre diferentes tabelas de uma base de dados de águas subterrâneas. 50
Figura 7.1 Diferentes níveis de acesso aos dados, com círculos que representam grupos de interessados que têm acesso fácil 62
Figura 7.2 Visão geral das principais Licenças Criativas Comuns 64
Figura 7.3 Resumo esquemático do intercâmbio de dados entre duas organizações que utilizam normas e protocolos OGC 65
Figura 7.4 Exemplos de pedidos de partilha de dados sobre águas subterrâneas na SADC. 67
Figura 8.1 O quadro de análise DPSIR, adaptado à gestão dos recursos hídricos subterrâneos 69

Figura 8.3 Círculo vicioso na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas 71
Figura 10:1 Mapa das bacias hidrográficas internacionais e dos aquíferos transfronteiriços na região da SADC 86

Caixas

Caixa 1.1 Definição de termos 4
Caixa 1.2 Governação das águas subterrâneas: principais deficiências, definição e aspectos da gestão de dados 5
Caixa 1.3 Declarações políticas em toda a SADC sobre Gestão da Informação sobre Recursos Hídricos 6
Figura 2.1 Serviços de águas subterrâneas 10
Caixa 3.1 Identificadores únicos para dados de localização, perfuração e teste de furos 15
Caixa 3.2 Questões potenciais no registo da localização dos furos 18
Caixa 4.1 Exemplos de objectivos de monitorização das águas subterrâneas 27
Caixa 4.2 Rede Nacional de Monitorização das Águas Subterrâneas dos Estados Unidos - Inspiração para uma rede de monitorização das águas subterrâneas em toda a SADC 27
Caixa 4.3 Descrição das diferentes etapas no desenvolvimento de um programa de monitorização das águas subterrâneas 30
Caixa 5.1 Garantias básicas de qualidade para medições do nível das águas subterrâneas 45
Caixa 6.1 Requisitos mínimos para estabelecer adequadamente um sítio (furo) na base de dados 51
Caixa 7.1 Reconhecimento global da importância do acesso dos interessados aos dados e informações ambientais. 59
Caixa 7.2 Dados vs informação 60
Caixa 7.3 Resumo do software disponível gratuitamente para armazenamento, partilha em linha e visualização de dados geoespaciais 66
Caixa 10.1 Um exemplo de cooperação transfronteiriça na SADC: o Sistema Aquífero Transfronteiriço de Stampriet (STAS)
Error! Bookmark not defined.

Acrónimos

ACWI	Comité Consultivo de Informação sobre a Água
AFD	Agência Francesa de Desenvolvimento
CRD	Desembolso de Taxa Constante
DPSIR	Quadro de Resposta-ao-Impacto-do-Estado-de-Pressão-do-Condutor
EEA	Agência Europeia do Ambiente
EU	União Europeia
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
FEC	Condutividade Eléctrica de Fluídos
GEF	Fundo Global para o Ambiente
GGRETA	Projecto Governação dos Recursos de Águas Subterrâneas em Aquíferos Transfronteiriços
GMI	Instituto de Gestão das Águas Subterrâneas
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GSM	Sistema Global para Comunicações Móveis
GWdataCoM	Recolha e Gestão de Dados Sobre Águas Subterrâneas
GWHC	Comité de Hidrologia das Águas Subterrâneas
GWML	Linguagem de Mark-up das Águas Subterrâneas
IAH	Associação Internacional de Hidrogeólogos
IBE	Erro de Equilíbrio Iônico
ICT	Tecnologias de Informação e Comunicação
IGRAC	Centro Internacional de Avaliação de Recursos de Águas Subterrâneas
IGS	Instituto de Estudos de Águas Subterrâneas
IHP	Programa Hidrológico Internacional
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas
MCCM	Mecanismo de Cooperação Multi-países
NGO	Organização Não-Governamental
NGWMN	Rede Nacional de Monitorização das Águas Subterrâneas
OGC	Consórcio Geo-espacial Aberto
ORASECOM	Comissão do Rio Orange-Senqu
QA	Garantia de Qualidade
QC	Controlo de Qualidade
RBO	Organização de Bacias Hidrográficas
SADC	Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral
SDC	Agência Suíça para o Desenvolvimento e Cooperação
SDI	Infra-estrutura de Dados Espaciais
SOGW	Subcomissão das Águas Subterrâneas
STAS	Sistema Aquífero Transfronteiriço Stampriet
SWCI	Instituição do Curso de Água Partilhado
TBA	Aquífero Transfronteiriço
TDS	Sólidos Dissolvidos Totais
TM	Mercador Transverso
UFS	Universidade do Estado Livre
UNECE	Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
UNICEF	Fundo de Emergência das Nações Unidas para a Infância Internacional
UPS	Fornecimento Ininterrupto de Energia
USEPA	Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos da América
WMS	Serviço de Mapa Web
WRC	Comissão de Investigação da Água
WSCU	Unidade de Coordenação do Sector da Água

Agradecimentos

O desenvolvimento do quadro da SADC para a recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas exigiu uma forte colaboração de todos os Estados Membros da SADC a vários níveis.

Os autores expressam o seu sincero apreço aos membros do **Sub-Comité de Hidrogeologia da SADC** por identificarem a necessidade do Quadro, no seguimento dos numerosos desafios que enfrentam nos seus respectivos países. Sem a facilitação e apoio dedicados dos membros do Sub-Comité de Hidrogeologia da SADC, que também servem de pontos focais para o desenvolvimento das águas subterrâneas nos seus respectivos países, este exercício não teria sido realizado. A este respeito, um agradecimento especial é dado ao Sr. Manuel Quintino, Angola; Sr. Kedumetse Keetile, Botswana; Sr. Cyrille Masamba, República Democrática do Congo; Sr. Trevor Shongwe, Reino de eSwatini, Sra. Christinah Makoae, Lesoto; Sr. Luciano Andriavelojaona, Madagáscar; Zione Uka, Malawi; Pokhun Rajeshwar, Maurícias; Ana Isabel Fotine, Moçambique; Maria Amakali, Namíbia; Frankie Jose Dupres, Seychelles; Zacharia Maswuma, África do Sul; Mwanamkuu Mwanyika, República Unida da Tanzânia; Frank Ngoma, Zâmbia; e Robert Mutepfa, Zimbabué.

Além disso, os autores agradecem a todos os outros profissionais dos **Estados Membros** que contribuíram para o projecto fornecendo ideias e feedback, em particular aos 145 profissionais de várias organizações que contribuíram para o projecto global através de entrevistas, e aos funcionários superiores dos Estados Membros e jovens profissionais envolvidos ao longo do projecto e em workshops.

É dada uma apreciação especial à equipa do **Instituto de Gestão das Águas Subterrâneas da SADC** composta pelo Sr. James Sauramba, Director Executivo; Sr. Brighton Munyai, Especialista Sénior em Águas Subterrâneas; Sr. Thokozani Dlamini, Especialista em Gestão do Conhecimento em Comunicação e Logística; Sra. Nyakallo Khoabane, Responsável pela Administração e Finanças; e Sra. Mampho Ntsheke, Responsável pelas Bolsas e Aquisições para tornar este projecto possível e pelas suas contribuições técnicas e logísticas.

A contribuição de todas as instituições e indivíduos que apoiaram o desenvolvimento do Quadro através de ideias e comentários e que podem não ter sido creditados pelo nome, é muito apreciada.

Resumo Executivo

A África Austral tem pelo menos 70 por cento da sua população dependente das águas subterrâneas como fonte primária para beber, uso doméstico e apoio a actividades de subsistência. Aplicações das águas subterrâneas são amplas e importantes para o abastecimento de água urbana, irrigação, rega de gado, e para uso industrial. Também fornece fluxo de base para rios e apoia ecossistemas.

Espera-se que a procura de água aumente devido ao crescimento da população, à mudança de estilo de vida - andorinhas-do-mar e clima. Se bem gerida, a água subterrânea na África Austral é um recurso que, poderia assegurar o abastecimento de água a longo prazo para satisfazer a crescente procura trazida pela variabilidade climática prevista. Existem mais aquíferos transfronteiriços na África Austral do que bacias hidrográficas transfronteiriças.

Embora as águas subterrâneas sejam um recurso abundante na região, o seu potencial permanece subjugado pela quantidade de dados sobre aspectos de disponibilidade, qualidade, quantidade e extracção. A capacidade limitada de prever o comportamento hidrogeológico e o desenvolvimento dos recursos hídricos com suficiente detalhe durante longos períodos de tempo afecta as extensões a que as águas subterrâneas como recurso são apreciadas e, portanto, geridas. A recolha e a gestão adequada e adequada dos dados relativos às águas subterrâneas é, portanto, crucial para uma gestão eficaz das águas subterrâneas.

A avaliação realizada pelo Centro Internacional de Avaliação dos Recursos de Águas Subterrâneas e pelo Instituto de Estudos de Águas Subterrâneas da Universidade do Estado Livre em 2017/2018, sobre o estado da recolha e gestão dos dados relativos às águas subterrâneas na SADC, confirma os desafios que a região enfrenta actualmente. As limitações incluem recursos humanos limitados, equipamento e capacidade financeira adequados para a recolha, análise, gestão, recuperação e partilha de dados; inconsistência na recolha de dados e controlo de qualidade de rotina; armazenamento de dados em diferentes formatos e dificuldade no acesso, utilização ou interpretação dos dados.

Observa-se que, embora as políticas, estratégias e directrizes técnicas sobre a colecção de dados de águas subterrâneas estejam disponíveis na Região da SADC, há necessidade de ligar as políticas com as directrizes técnico-nicas existentes que não estão a ser efectivamente utilizadas devido à falta de uma orientação clara sobre a forma de as utilizar. Não existe um quadro organizacional e de planeamento adequado para a utilização das linhas de orientação técnica para implementar as políticas e estratégias existentes sobre os recursos hídricos que incluem as águas subterrâneas. Assim, o quadro da SADC para a recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas serve como um instrumento para impulsionar a implementação de políticas e estratégias que utilizam as directrizes técnicas existentes.

O Quadro é dirigido a funcionários que têm um papel de coordenação na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas. Estes são geralmente profissionais de nível superior que coordenam os técnicos de campo, bem como interagem com gestores e directores de departamentos.

O objectivo geral do Quadro é **fornecer estruturas de organização e planeamento para a recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas de forma estratégica, inovadora e rentável**. Os objectivos específicos são os seguintes:

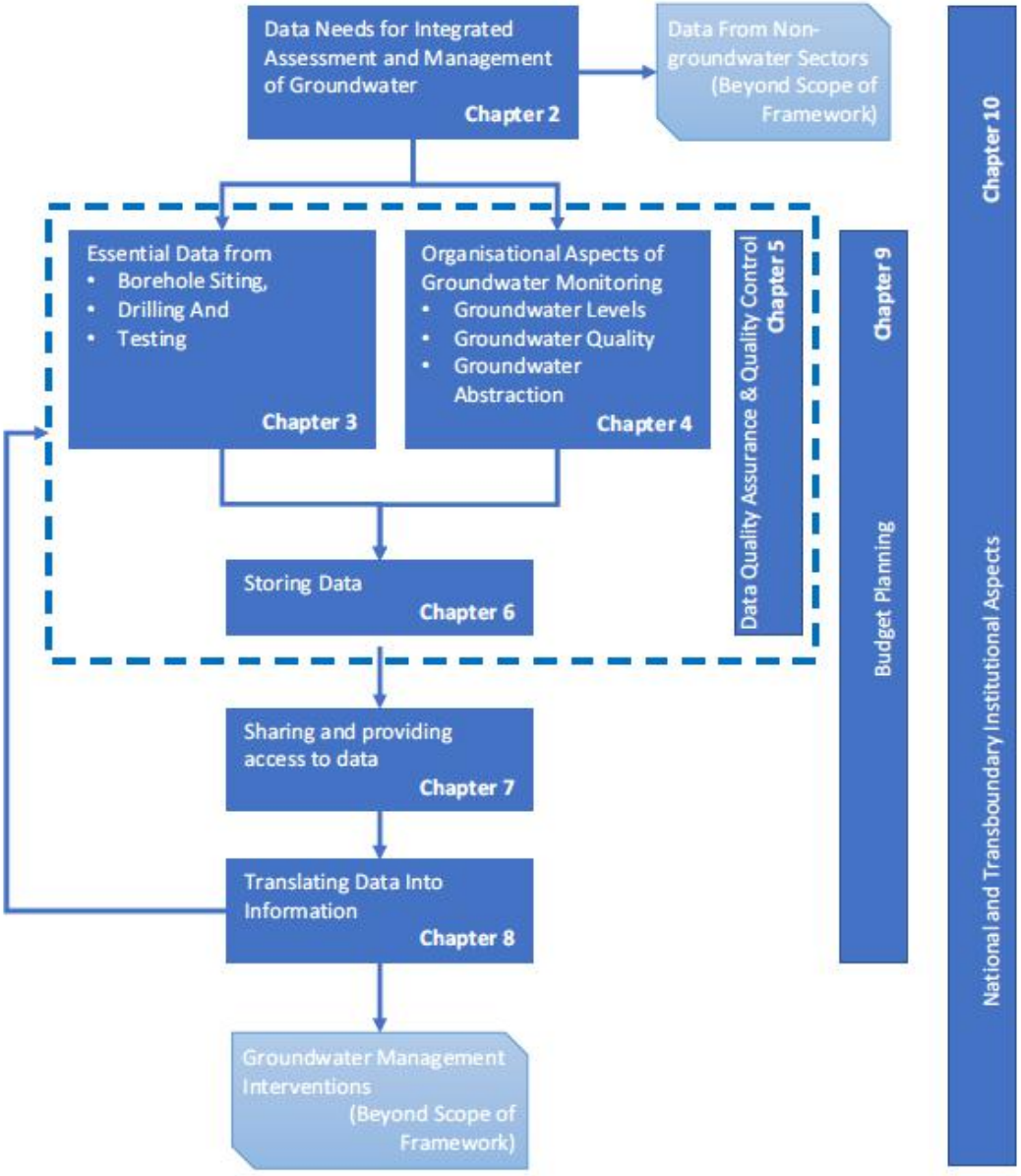
- **Ajudar os Estados Membros da SADC que actualmente enfrentam dificuldades na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas a desenvolver procedimentos adequados a nível nacional que correspondam à sua capacidade financeira e humana e ao seu nível de desenvolvimento; e**
- **Reforçar a cooperação transfronteiriça e regional através da harmonização das práticas nos Estados Membros em termos de recolha e gestão de dados e facilitar o**

intercâmbio de dados.

O Quadro de Referência aborda vários aspectos da recolha de dados sobre águas subterrâneas e do agement de dados, tais como localização e perfuração de furos, monitorização das águas subterrâneas, recolha de dados de campo, tabases da-, e partilha e comunicação de dados.

O Quadro de Referência assiste na implementação de acções prioritárias no programa de trabalho para as águas subterrâneas no Plano de Acção Estratégico Regional da SADC para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. (RSAP IV, 2016-2020). A capacidade institucional e técnica para implementar estratégias nacionais pode ser reforçada utilizando o Quadro de orientação. O Quadro também facilitará a cooperação na gestão de aquíferos partilhados na região, com vista à implementação do Protocolo Revisto da SADC sobre Cursos de Água Partilhados e acordos sobre bacias hidrográficas em toda a região.

O Quadro está dividido em 10 capítulos, como se pode ver na figura abaixo.



O **Capítulo 1** fornece **a fundamentação do Quadro;** o posicionamento do Quadro em relação aos processos regionais, e o **grupo-alvo específico.**

O **Capítulo 2** fornece informações sobre as necessidades de **dados para uma avaliação e gestão integradas das águas subterrâneas**. As necessidades de dados vão além das águas subterrâneas, e abrangem dados de outros sectores, como a agricultura que utilizam ou potencialmente poluem as águas subterrâneas, e dados de sectores meteorológicos e ecológicos que fornecem informações necessárias para compreender o sistema hidrogeológico.

Sublinha a importância de dados fiáveis e actualizados sobre águas subterrâneas como a única forma de desenvolver uma boa compreensão conceptual dos sistemas aquíferos e da dinâmica ou tendências no desenvolvimento dos recursos de águas subterrâneas. A chave do capítulo é a necessidade de os departamentos de águas subterrâneas e outros sectores cooperarem e trocarem dados e informações relevantes necessários para a avaliação integrada dos recursos de águas subterrâneas e para o desenvolvimento de políticas integradas.

O **Capítulo 3** trata da importância da recolha de **dados essenciais da perfuração e dos testes de sondagem** para poder desenvolver uma compreensão conceptual dos sistemas de aquíferos e para desenvolver e gerir com sucesso as captações de águas subterrâneas. O capítulo foca os dados essenciais que precisam de ser devidamente registados durante a fase de perfuração e construção, e ser armazenados em formatos mais amplamente compatíveis em bases de dados estruturadas para utilização futura.

Os departamentos de águas subterrâneas precisam de iniciar actividades para encorajar e/ou obrigar os interessados a submeter os dados essenciais da perfuração, testes e localização de furos. A capacitação em matéria de aplicação da lei ambiental deve incluir (aplicação de) recolha de dados essenciais sobre águas subterrâneas.

O **Capítulo 4** trata da **organização e dos aspectos de planeamento da monitorização das águas subterrâneas**. A monitorização dos níveis, qualidade e abstracção das águas subterrâneas é essencial para compreender as tendências no desenvolvimento dos recursos e para definir intervenções de gestão eficazes. O capítulo salienta que para uma monitorização rentável, são necessárias escolhas correctas de métodos (manual e registadores de dados), manutenção regular, reavaliação e optimização das redes. Observa que a **monitorização das águas subterrâneas não é apenas um exercício técnico,** requer organização e planeamento a vários níveis dentro das organizações. Isto inclui a atribuição de capacidade e orçamentos para investimentos incidentais e custos recorrentes para a recolha e manutenção de dados. O capítulo apresenta o potencial da **recolha de dados sobre águas subterrâneas baseada na comunidade** como uma medida rentável, com o benefício adicional de poder desencadear a participação da comunidade na gestão das águas subterrâneas.

O **Capítulo 5** centra-se na importância da **garantia e controlo da qualidade dos dados** (QA/QC). É sublinhada a necessidade de construir capacidade em QA/QC e os benefícios da tecnologia moderna. Isto inclui o desenvolvimento e condução de programas de formação profissional para técnicos de águas subterrâneas para melhorar a qualidade e eficiência da recolha de dados sobre águas subterrâneas; utilização de tecnologias modernas tais como formulários de campo digitais em aplicações de telemóveis e registadores de dados; O capítulo sublinha a necessidade de realizar verificações de rotina (assistidas por computador) para verificar a qualidade dos dados antes da sua captura em bases de dados.

O **Capítulo 6** salienta a necessidade de **armazenar dados** de forma estruturada, em formatos digitais que possam ser facilmente processados, para permitir um acesso, recuperação e processamento eficiente e rentável para estudos futuros. A escolha do software das bases de dados deve basear-se na quantidade esperada de dados a armazenar, bem como na capacidade humana disponível e nas competências para gerir os dados e os sistemas das bases de dados.

O capítulo recomenda a utilização de soluções avançadas de base de dados baseadas em servidor que fornecem as soluções mais robustas, embora a um custo relativamente elevado. Há

necessidade de considerar os elevados custos de configuração e manutenção, bem como o custo de manutenção das soluções avançadas de base de dados baseadas em servidor. Caso contrário, se não houver recursos suficientes, o melhor seria utilizar soluções mais simples. Folhas de cálculo bem concebidas podem ser uma alternativa adequada e altamente rentável às soluções avançadas de base de dados baseadas em servidor ou em ambiente de trabalho. Se os dados estiverem bem estruturados, a migração dos dados para sistemas de bases de dados mais avançados numa fase posterior, quando necessário, é relativamente simples, permitindo um desenvolvimento progressivo.

O **Capítulo 7** apresenta a **importância da partilha e do acesso aos dados** para promover a sensibilização e o envolvimento das partes interessadas na gestão das águas subterrâneas. A partilha de dados permite decisões informadas no planeamento e gestão dos recursos aquíferos nacionais e transfronteiriços. O capítulo promove a cooperação entre e entre os depositários de dados. Promove também a utilização de tecnologia moderna na partilha de dados. Por exemplo, a utilização de normas de dados abertas permite um acesso sem descontinuidades aos dados de outras organizações, ao mesmo tempo que elimina a necessidade de gerir os dados em múltiplos locais e organizações.

O **Capítulo 8** salienta que **os dados precisam de ser transformados em informação** para comunicar mensagens-chave às partes interessadas e desenvolver intervenções baseadas em factos. O capítulo toma nota das diferentes partes interessadas que requerem que a informação seja apresentada de forma diferente. De grande importância é a análise e interpretação dos dados para o desenvolvimento de políticas e intervenções de gestão. Além disso, e importante, as análises e a interpretação também ajudam a identificar lacunas de dados e questões de qualidade de dados que podem levar a uma reavaliação das necessidades de dados e dos procedimentos de recolha e/ou gestão de dados.

O **Capítulo 9** sublinha a necessidade de **planeamento orçamental** e de compreender os vários custos envolvidos nas actividades de recolha e gestão de dados. O financiamento de actividades relacionadas com dados sobre águas subterrâneas pode ser obtido de diferentes formas. O financiamento externo pode ser adequado para investimentos iniciais, mas o orçamento para a gestão e manutenção contínuas deve provir, tanto quanto possível, de recursos financeiros nacionais.

O **Capítulo 10** conclui o Quadro, apresentando os aspectos institucionais **nacionais e transfronteiriços** da recolha e gestão dos dados relativos às águas subterrâneas. Isto cobre a necessidade de implementar gradualmente programas transfronteiriços de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas, começando com uma avaliação inicial baseada na recolha, harmonização e combinação dos conjuntos de dados existentes dos países, antes de passar à monitorização conjunta. O capítulo sublinha a necessidade de harmonizar a recolha e armazenamento de dados nacionais de modo a que estes possam ser utilizados a nível transfronteiriço e regional. Embora os dados possam ser recolhidos através de organizações nacionais, as instituições transfronteiriças e internacionais, tais como as L/RBOs (Organizações de Bacias Hidrográficas) ou o Instituto de Gestão das Águas Subterrâneas da SADC (SADC-GMI) estão bem posicionadas para prestar apoio ou mesmo liderar programas transfronteiriços de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas.

1 INTRODUÇÃO

1.1. Fundamentação para o Quadro da SADC Para a Recolha e Gestão de Dados

As águas subterrâneas são importantes em toda a região da Comunidade de Desenvolvimento da África Austral (SADC), especialmente para o abastecimento de água rural. Estima-se que pelo menos 70 por cento dos 327,2 milhões de pessoas que vivem na África Austral dependem das águas subterrâneas como fonte primária de água para beber e para uso doméstico, e para apoiar actividades de subsistência (SADC, 2016a). A utilização de águas subterrâneas para outros fins, tais como abastecimento de água urbano, irrigação, abeberamento de gado ou para a indústria, embora diferente de país para país, é também significativa.

As águas subterrâneas são uma fonte importante para a água doméstica em toda a África Austral.

A procura de água na região está a aumentar como resultado do crescimento populacional e do desenvolvimento socioeconómico. Os extremos climáticos resultam frequentemente em inundações e períodos prolongados de seca, tornando as águas superficiais menos fiáveis para o abastecimento de água durante todo o ano. O Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC) previu que a África Austral deverá conhecer secas mais frequentes, geralmente períodos de seca mais longos e precipitações mais variáveis do que anteriormente, com uma diminuição da precipitação anual de até 20 por cento até 2080 (IPCC 2014). Como resultado, a utilização e gestão sustentável das águas subterrâneas torna-se crucial.

Embora as águas subterrâneas sejam um recurso importante na região, permanecem algo escondidas devido à quantidade limitada de dados sobre a sua disponibilidade, qualidade e utilização, o que dificulta uma avaliação precisa do estado e tendência das águas subterrâneas. Sem um conhecimento adequado do recurso e princípios de boa governação, este enorme recurso pode ser rápida e irreversivelmente degradado.

Estudos sobre aquíferos transfronteiriços e estudos regionais de águas subterrâneas sobre os impactos da variabilidade e das alterações climáticas, bem como da evolução socioeconómica, exigem que os dados e informações regionais sejam compilados,

harmonizados e tornados facilmente acessíveis.

Como parte do projecto *Capacitação em Matéria de Recolha e Gestão de Dados Sobre Águas Subterrâneas nos Estados Membros da SADCs* (IGRAC e IGS, 2019a) foi realizada uma avaliação em 2017 e 2018 sobre o estado da recolha e gestão de dados relativos às águas subterrâneas nos Estados Membros da SADC.

A avaliação envolveu revisão bibliográfica, consultas com 145 peritos em águas subterrâneas através de entrevistas, e o envolvimento de jovens profissionais dos Estados Membros da SADC para compreender as necessidades de capacidade de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas na região.

A informação obtida através da avaliação foi sintetizada num relatório sobre o Estado da Recolha e Gestão de Dados sobre Águas Subterrâneas nos Estados Membros da SADC (IGRAC e IGS, 2019b). O relatório fornece uma avaliação detalhada por Estado Membro e para toda a região da SADC. A principal conclusão é que todos os Estados Membros da SADC, em diferentes graus, têm desafios na organização eficaz da recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas. Algumas das principais questões identificadas são:

- Falta de pessoal e de capacidade e equipamento especializado;
- Falta de objectivos e procedimentos claros para a monitorização das águas subterrâneas;
- Inconsistências na recolha de dados. A distribuição espacial e temporal dos dados é baixa ou desigual (muitas lacunas de dados);
- Garantia de qualidade e controlo de qualidade insuficientes dos dados;
- Poucas bases de dados digitais funcionais. Os dados são armazenados em locais diferentes em formatos diferentes, o que compromete ainda mais a usabilidade dos dados;
- Estratégias limitadas de dados de apoio, por vezes inexistentes e os dados correm o risco de se perderem;
- O acesso complicado aos dados, por vezes mesmo dentro do governo, departamentos e partilha de dados é muito limitado, tanto a nível nacional como regional; e
- Capacidade limitada para interpretar dados sobre águas subterrâneas e produção de informação para uma tomada de decisão eficaz.

Estas questões mostram pontos fracos em toda a cadeia de recolha e gestão de dados e, como resultado, é produzida pouca informação actualizada sobre águas subterrâneas para apoiar a tomada de decisões na região. Os entrevistados relataram frequentemente que os desafios emanam da falta de fundos. Isto está de acordo com a Estratégia Regional da Água da SADC (SADC, 2006) que também relata que a região tem dificuldade em mobilizar fundos adequados para o desenvolvimento e gestão dos recursos de águas subterrâneas. Apesar de os programas de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas necessitarem de mais fundos, também precisam de ser optimizados de acordo com os orçamentos disponíveis e limitados.

Estão disponíveis políticas, estratégias e directrizes técnicas sobre recolha e gestão de dados relativos às águas subterrâneas, mas é necessário ligar as políticas às directrizes técnicas, tais como as Directrizes Para o Desenvolvimento das Águas Subterrâneas na Região da SADC (SADC, 2001), que não estão a ser utilizadas eficazmente devido a uma falta de organização e planeamento claros e apropriados da recolha e gestão de dados. É sobre este pano de fundo que foi desenvolvida o Quadro da SADC para a Recolha e Gestão de Dados sobre Águas Subterrâneas.

1.2 Objectivos e Âmbito do Quadro

O objectivo do Quadro é preencher a lacuna entre as estratégias e políticas regionais da SADC e as directrizes e manuais técnicos já existentes, como ilustrado na Figura 1.1, fornecendo estruturas organizacionais e de planeamento para a recolha e gestão de dados de águas subterrâneas de forma estratégica, inovadora e rentável. Reconhece as diferenças entre as capacidades, desafios e necessidades dos Estados Membros em termos de recolha e gestão dos dados relativos às águas subterrâneas. Tendo em conta esta disparidade, o Quadro fornece apoio estratégico e organizativo a vários níveis e tipos de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas.

Os objectivos específicos são os seguintes:

Objectivo 1: Ajudar os Estados Membros que enfrentam actualmente dificuldades na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas a desenvolver procedimentos adequados a nível nacional que correspondam à sua capacidade financeira e humana e ao seu nível de desenvolvimento;

Objectivo 2: Reforçar a cooperação transfronteiriça e regional através da harmonização das práticas dos Estados Membros em termos de recolha e gestão de dados e facilitar o intercâmbio de dados.

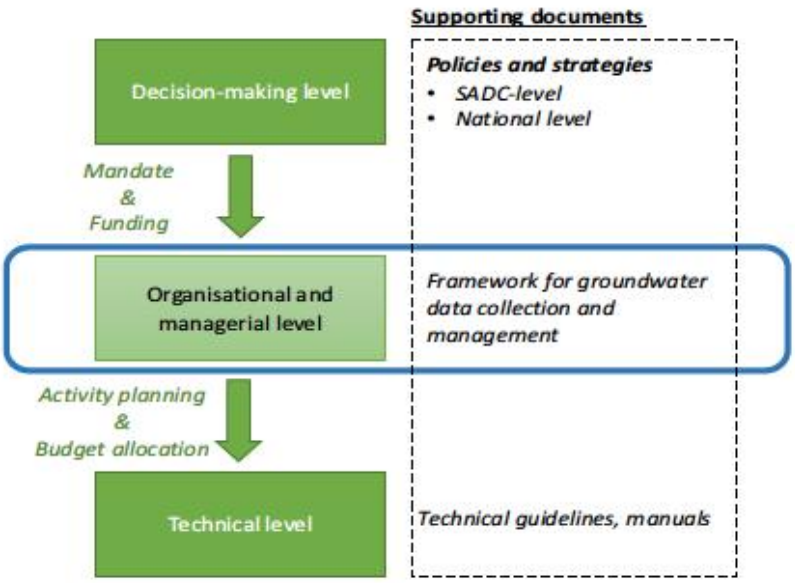


Figura 1.1 Posição do Quadro no âmbito dos instrumentos existentes da SADC sobre águas subterrâneas

O objectivo é que os Estados Membros beneficiem do Quadro, independentemente dos seus níveis de implementação da recolha e gestão dos dados relativos às águas subterrâneas. O Quadro aborda muitos aspectos da recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas, desde a localização dos furos até à monitorização das águas subterrâneas, desde a recolha de dados no terreno até às bases de dados e à partilha de dados. O foco está nos dados que são recolhidos e arquivados regularmente, quer através de programas de monitorização dedicados quer através de actividades regulares, tais como perfuração e desenvolvimento de novos furos (Ver Caixa 1.1 e 1.2). Os dados que são recolhidos a título incidental (por exemplo, em cartografia hidrogeológica ou investigação especializada) não são abrangidos por este Quadro. O Quadro não foi, portanto, concebido para orientar as expectativas técnicas, mas destina-se principalmente a reforçar a capacidade dos gestores de águas subterrâneas na sua organização

e planeamento da recolha e gestão de dados.

Há necessidade de melhorar o acesso seguro à água limpa na África Austral

Caixa 1.1 Definição de termos

Neste Quadro, a recolha de dados sobre águas subterrâneas, a monitorização das águas subterrâneas e a gestão dos dados sobre águas subterrâneas são definidas da seguinte forma:

A recolha de dados sobre águas subterrâneas é a recolha de dados de campo sobre águas subterrâneas sob a responsabilidade dos departamentos de águas subterrâneas. Os dados podem ser agrupados em duas categorias principais: dados de localização de furos, dados de perfuração e de ensaio, e dados de monitorização.

A localização, perfuração e ensaio de furos são as actividades realizadas para criar novos furos. Muitos dados relevantes são recolhidos durante estas actividades que fornecem uma visão significativa sobre a disponibilidade, qualidade e utilização das águas subterrâneas.

A monitorização das águas subterrâneas é o processo de recolha de dados sobre águas subterrâneas variáveis no tempo, tais como níveis das águas subterrâneas, dados sobre a qualidade das águas subterrâneas e dados sobre a captação de águas subterrâneas numa rede pré-desenhada e a intervalos definidos, com o objectivo de observar e analisar tendências.

A gestão dos dados sobre águas subterrâneas é todo o processo de utilização dos dados sobre águas subterrâneas após a sua recolha. Abrange a garantia e o controlo da qualidade (QA/QC) desses dados, o armazenamento desses dados em arquivos e bases de dados, a partilha/acesso aos dados, a análise e interpretação dos dados e, finalmente, a divulgação da informação resultante sobre as águas subterrâneas.

1.3 Posição do Quadro em Relação aos Processos Regionais

O quadro da SADC para a recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas contribuirá significativamente para a implementação de protocolos e estratégias regionais na região da SADC. Por exemplo, contribuirá para o cumprimento do artigo sobre partilha de dados e informações hidrogeológicos previsto no Protocolo Revisto sobre Cursos de Água Partilhados da SADC (SADC, 2000). Isto, por sua vez, alimenta as conclusões do projecto Governação das Águas Subterrâneas (FAO 2016c), o qual sublinha a importância de uma boa informação sobre as águas subterrâneas, tal como indicado na Caixa 1.2.

O Quadro contribuirá para o cumprimento das metas da Política Regional da Água da SADC (SADC, 2005), uma das quais é para os Estados Membros estabelecerem sistemas de informação sobre os recursos hídricos, bem como assegurar que o público em geral tenha acesso a informação relevante e de fácil compreensão sobre os recursos hídricos com impacto na sua

saúde ou segurança e nos interesses económicos, conforme indicado na Caixa 1.3.

Além disso, o Quadro contribuirá para o Programa 6.2.2 (c) do Plano de Acção Estratégico Regional sobre Desenvolvimento e Gestão Integrada dos Recursos Hídricos Fase IV: 2016-2020 (SADC, 2016b), que declara a necessidade de reforçar a monitorização das águas subterrâneas e sistemas de gestão de dados para apoiar os Estados Membros da SADC.

A nascente de águas subterrâneas em Motlhaka, África do Sul, indica a presença de aquíferos por baixo

Caixa 1.2 Governação das águas subterrâneas: principais deficiências, definição e aspectos da gestão de dados

Governação das águas subterrâneas - principais deficiências identificadas no "diagnóstico global"

- Liderança Inadequada de Agências Governamentais;
- Sensibilização limitada para os Riscos das Águas Subterrâneas a Longo Prazo;
- Nenhuma Medição do Estado dos Recursos de Águas Subterrâneas;
- Sistemas Legais Não Performativos em Águas Subterrâneas;
- Participação Insuficiente das Partes Interessadas na Gestão das Águas Subterrâneas; e
- Integração Limitada das Águas Subterrâneas nas Políticas Nacionais Relacionadas.

Governação das Águas Subterrâneas - uma definição

A governação das águas subterrâneas compreende a promoção de uma **acção colectiva responsável** para assegurar o controlo, a protecção e a **utilização** socialmente sustentável dos recursos de águas subterrâneas e dos sistemas aquíferos em **benefício da humanidade e dos ecossistemas dependentes**. Esta acção é facilitada por um enquadramento e princípios orientadores.

Governação das águas subterrâneas tem quatro componentes:

- Um quadro jurídico e regulamentar eficaz e articulado;
- Um conhecimento preciso e amplamente partilhado dos sistemas de águas subterrâneas em causa, juntamente com a consciência dos desafios da sustentabilidade;
- Um **quadro institucional** caracterizado por liderança, organizações sólidas e capacidade suficiente, envolvimento permanente das partes interessadas e mecanismos de trabalho para coordenar entre as águas subterrâneas e outros sectores; e
- **Políticas, planos, finanças e estruturas de incentivo** alinhadas com os objectivos da sociedade.

Organização da recolha de dados, geração de informação e partilha de conhecimentos

- Uma boa gestão do aquífero requer boa informação;
- A informação incluirá tanto instantâneos de características estáticas como a monitorização de mudanças dinâmicas;
- A informação precisa de ser convertida em conhecimento, a fim de permitir aos interessados tomarem decisões de gestão informadas;
- A informação e o conhecimento resultantes devem ser amplamente partilhados com todos os interessados;
- as quatro tarefas de informação e conhecimento - aquisição de dados, análise, partilha de informação; e
- Divulgação de conhecimentos úteis - são passos fundamentais para orientar a gestão das águas

subterrâneas

Fonte:

Projecto de Governação das Águas Subterrâneas (www.groundwatergovernance.org):

- Diagnóstico Global sobre Governação das Águas Subterrâneas (FAO, 2016a)
- Uma Visão Global Partilhada para 2030 (FAO, 2016b)
- Quadro Global de Acção para Alcançar a Visão sobre Governação das Águas Subterrâneas (FAO, 2016c)

A capacitação de jovens profissionais em questões de águas subterrâneas é vital

Caixa 1.3 Declarações políticas em toda a SADC sobre Gestão da Informação sobre Recursos Hídricos

Declaração política:

(e) Informação e Gestão de Recursos Hídricos e Aquisição e Gestão de Informação

(i) Os Estados Membros estabelecerão sistemas de aquisição e gestão de dados e informações sobre recursos hídricos nos seus territórios de forma integrada a nível regional, de bacias hidrográficas e nacional para satisfazer todas as necessidades de gestão de recursos hídricos.

(ii) Os Estados Membros adoptarão sistemas compatíveis de aquisição e gestão de dados e de informação.

Partilha de Informação

(i) Os Estados Membros devem partilhar atempadamente a informação e os dados disponíveis relevantes sobre as condições hidrológicas, hidrogeológicas, qualidade da água, meteorológicas e ambientais dos cursos de água partilhados.

(ii) Os Estados Membros garantirão que o público da região tenha acesso a informações relevantes e compreensíveis sobre os recursos hídricos que tenham impacto na sua saúde ou segurança e nos seus interesses económicos.

(iii) A SADC, a SWCI, bem como os Estados Membros estabelecerão mecanismos de interpretação e divulgação regulares de informações essenciais sobre os recursos hídricos, para que o público seja regularmente informado.

Fonte: SADC: Política Regional da Água da SADC (SADC, 2005)

1.4 Público-alvo para o Quadro

A recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas são de natureza bastante técnica. Contudo, este quadro não pretende ser uma orientação para o pessoal tecnicamente orientado a sair no terreno para recolher dados (técnicos de campo). As directrizes existentes, manuais de melhores práticas, e modelos de formulários de campo disponíveis na região são apropriados para o pessoal técnico.

O Quadro visa sobretudo os funcionários que têm um papel de coordenação na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas, geralmente a um nível mais elevado; profissionais que interagem ou coordenam com técnicos de campo, bem como com gestores e directores de departamentos. Destina-se a ser um instrumento para melhorar o fluxo de dados do campo para bases de dados adequadas e acessíveis, resultando na utilização de dados para o desenvolvimento de políticas e intervenções de gestão das águas subterrâneas. O Quadro destina-se a melhorar os procedimentos de trabalho existentes, bem como a criar uma maior

consciencialização sobre a importância da recolha, gestão e recolha de dados, tendo em conta a capacidade e os requisitos orçamentais.

1.5 Desenvolvimento do Quadro

O Instituto de Gestão das Águas Subterrâneas da SADC (SADC-GWdataCoM) contratou o Centro Internacional de Avaliação dos Recursos de Águas Subterrâneas (IGRAC) para executar o projecto de *Capacitação para a Recolha e Gestão de Dados sobre Águas Subterrâneas nos Estados Membros da SADC* (SADC-GWdataCoM) ao abrigo do contrato CS2017/05 de 1 de Setembro de 2017. O projecto, que decorreu entre Setembro de 2017 e Abril de 2019, foi executado pelo IGRAC em estreita cooperação com o Instituto de Estudos das Águas Subterrâneas (IGS) da Universidade do Estado Livre (UFS) na África do Sul. O desenvolvimento deste Quadro foi uma das componentes do projecto, para além de analisar o estado da recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas nos Estados Membros da SADC e o desenvolvimento de capacidades de jovens profissionais da região.

A equipa do projecto elaborou o Quadro em consulta regular com o pessoal da SADC-GMI, fazendo uso das directrizes existentes e de iniciativas semelhantes documentadas. Um projecto zero do Quadro foi discutido num workshop realizado em Novembro de 2018 em Joanesburgo, no qual participaram membros superiores dos departamentos de águas subterrâneas dos Estados Membros da SADC, com experiência na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas. Foram discutidos aspectos técnicos do Quadro, o que forneceu um valioso contributo para o relatório. Um esboço actualizado foi partilhado com pessoas focais da SADC-GMI nos Estados Membros para um feedback adicional através do comité director da SADC-GMI em Abril de 2019, após o que o Quadro foi concluído.

O desenvolvimento de políticas relacionadas com as águas subterrâneas deve envolver as partes interessadas a todos os níveis

1.6 Esboço do Relatório

O capítulo 2 explica a importância da recolha e gestão dos dados relativos às águas subterrâneas, juntamente com outros dados relacionados com as águas subterrâneas. Descreve o contexto mais amplo dos dados relativos às águas subterrâneas tratados neste Quadro. O Capítulo 3 descreve os dados essenciais a serem recolhidos a partir da localização, perfuração e ensaio de furos. O Capítulo 4 trata dos aspectos organizacionais da monitorização das águas subterrâneas, incluindo uma secção sobre o potencial para a recolha de dados sobre águas subterrâneas com base na comunidade. O Capítulo 5 trata de aspectos de controlo e garantia da qualidade, enquanto os capítulos seguintes tratam do armazenamento (Capítulo 6), partilha (Capítulo 7) e processamento de dados (Capítulo 8). O Capítulo 9 discute questões orçamentais e o Capítulo 10 completa o Quadro com considerações institucionais sobre a recolha e gestão de dados a nível nacional e transfronteiriço. A Figura 1.2 fornece uma visão geral dos aspectos cobertos pelo Quadro.

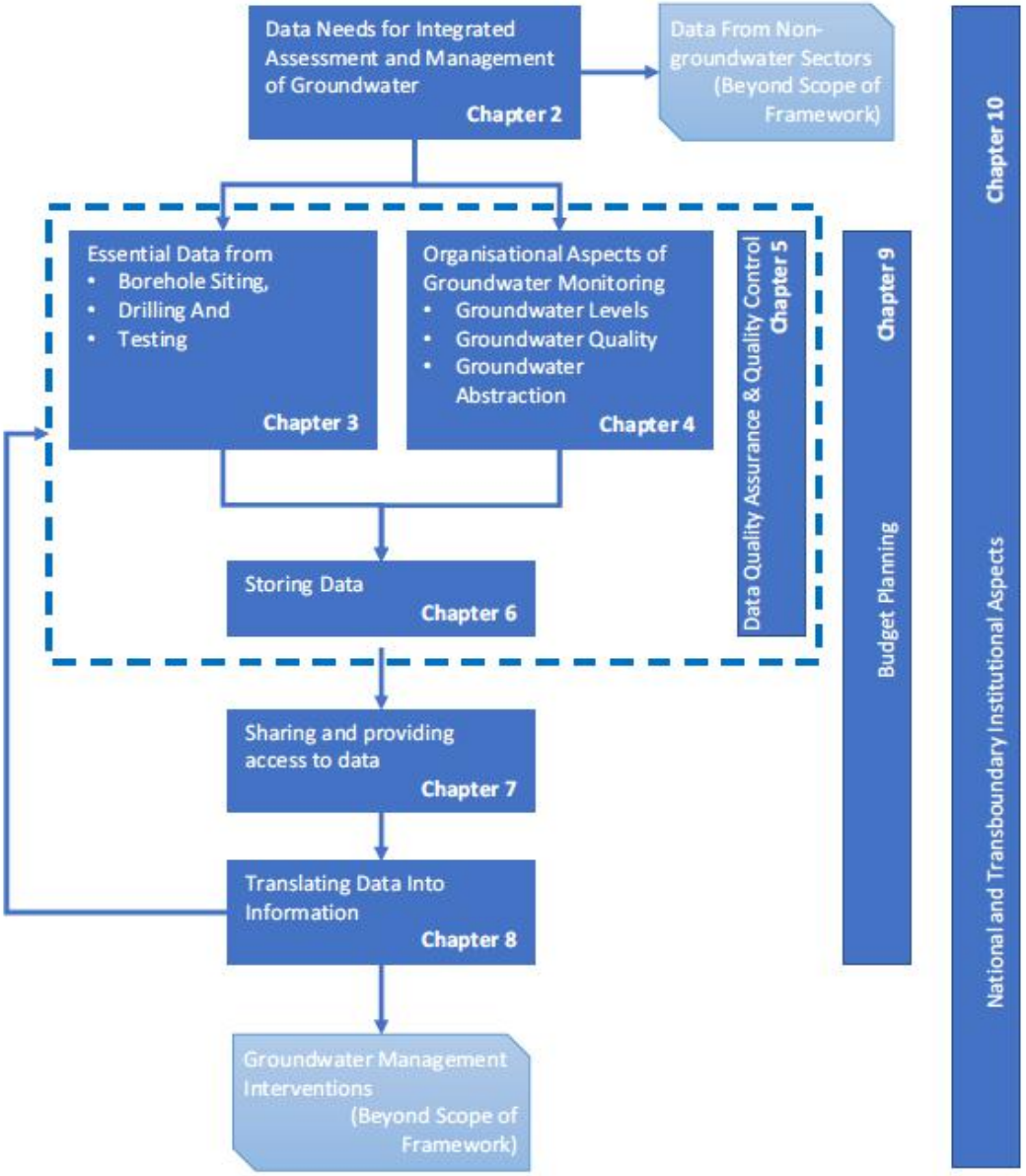


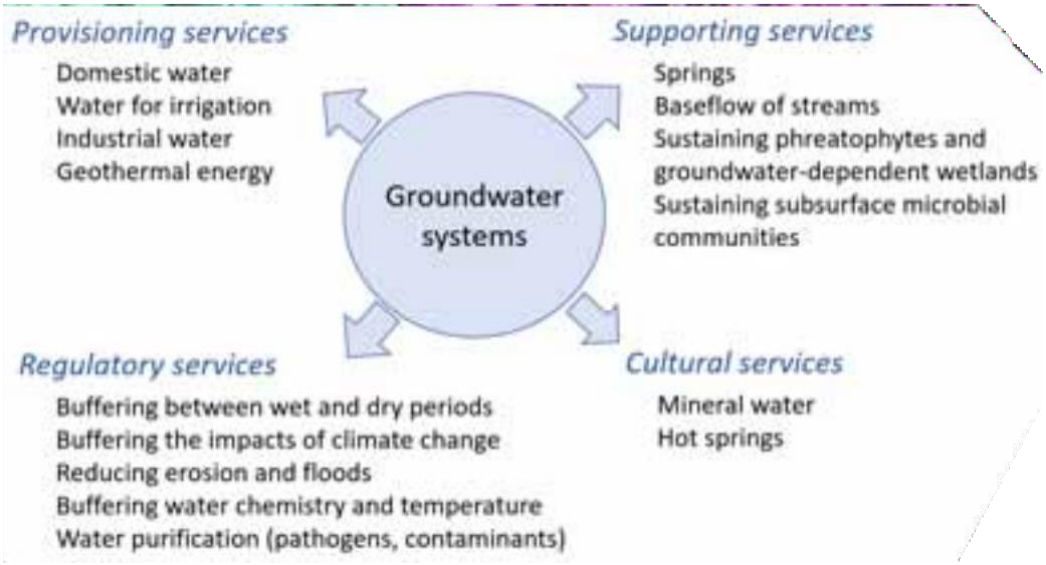
Figura 1.2 Resumo do Quadro de Referência

2 NECESSIDADES DE DADOS PARA UMA AVALIAÇÃO E GESTÃO INTEGRADAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

2.1 Introdução

As águas subterrâneas são um recurso importante para uso doméstico, agricultura (irrigação e rega de gado) e indústria. As águas subterrâneas são também cruciais para vários ecossistemas, por exemplo, na sustentação de nascentes e escoamento de base para os rios. Devido à grande capacidade tampão dos aquíferos em geral, os sistemas de águas subterrâneas podem ser utilizados para armazenar água (naturalmente ou artificialmente) durante períodos húmidos para serem extraídos em períodos secos. Estas e outras funções das águas subterrâneas são referidas como serviços de sistemas de águas subterrâneas (Bergkamp e Cross, 2006). A Figura 2.1 fornece uma visão geral dos diferentes serviços ou funções dos sistemas de águas subterrâneas. Para manter estes serviços, é necessária uma gestão adequada das águas subterrâneas.

As águas subterrâneas são um recurso chave para a agricultura face às alterações climáticas.



Fonte: Van der Gun, J. (2018), Documento não publicado para IGRAC

Figura 2.1 Serviços de águas subterrâneas

2.2 Necessidades de Dados

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos requer uma avaliação e um controlo regular do estado dos recursos (quantidade e qualidade), a sua interacção com outras componentes do ciclo da água (por exemplo, águas superficiais, precipitação e evaporação), a sua relação com actividades socioeconómicas e questões ambientais, bem como o contexto jurídico e institucional em que é governada. Para se poder avaliar estas interacções e estabelecer tendências, são necessários dados sobre todos estes processos. A Tabela 2.1 enumera os dados necessários

para a avaliação integrada dos recursos de águas subterrâneas que podem ser utilizados para descrever o estado geral dos recursos de águas subterrâneas. Foi desenvolvido para a avaliação de aquíferos transfronteiriços, mas também pode ser utilizado para a avaliação de aquíferos nacionais. Nem todos os dados são necessários em todas as circunstâncias e a lista de parâmetros no quadro não é exaustiva. Mais importante ainda, destaca a multiplicidade de dados necessários para a gestão integrada dos recursos de águas subterrâneas.

Formação de jovens profissionais na recolha de dados

Tabela 2.1 Dados a recolher para a avaliação de aquíferos transfronteiriços

Parameters, variables and information to be collected	
A. Physiography and climate	C.9. Discharge by springs
A.1. Temperature*	D. Environmental aspects
A.2. Precipitation*	D.1. Groundwater quality (suitability for human consumption)
A.3. Evapotranspiration	D.2. Groundwater pollution
A.4. Land use*	D.3. Solid waste and wastewater control
A.4.1. Groundwater-fed agricultural land	D.3.1. Wastewater being collected in sewerage systems
A.4.2. Groundwater-irrigated land	D.3.2. Wastewater treated
A.4.3. Groundwater-supported wetlands and ecosystems	D.3.3. Solid waste being stored in controlled fields
A.4.4. Areas with land subsidence	D.4. Shallow groundwater table and groundwater-dependent ecosystems
A.5. Topography: elevation data*	E. Socio-economic aspects
A.6. Surface water network (rivers, lakes, swamps, reservoirs, canals, etc.)	E.1. Population (total and density)*
B. Aquifer geometry	E.2. Groundwater use
B.1. Hydrogeological map	E.2.1. Total volume groundwater abstraction
B.2. Geo-referenced boundary of the Transboundary Aquifer	E.2.2. Groundwater abstraction for domestic use
B.3. Depth of water table/piezometric surface	E.2.3. Groundwater abstraction for use in agriculture and livestock
B.4. Depth to top of aquifer formation	E.2.4. Groundwater abstraction for commercial and industrial use
B.5. Vertical thickness of the aquifer	E.3. Surface water use*
B.6. Degree of confinement	E.3.1. Total volume of surface water use
B.7. Aquifer's cross section	E.3.2. Surface water for domestic use
C. Hydrogeological characteristics	E.3.3. Surface water use for agriculture / livestock
C.1. Aquifer recharge	E.3.4. Surface water for commercial and industrial use
C.1.1. Natural recharge	E.4. Dependence of industry and agriculture on groundwater
C.1.2. Return flows from irrigation	E.5. Percentage of population covered by public water supply
C.1.3. Managed aquifer recharge	E.6. Percentage of population covered by public sanitation
C.1.4. Induced recharge	F. Legal and institutional aspects**
C.1.5. Extent of recharge zones	F.1. Transboundary legal and institutional framework
C.1.6. Sources of recharge	F.2. Domestic legal and institutional framework
C.2. Aquifer lithology	F.2.1. Ownership of groundwater
C.3. Soil types	F.2.2. Water resource planning
C.4. Porosity	F.2.3. Groundwater resource abstraction and use
C.5. Transmissivity and vertical connectivity	F.2.4. Abatement and control of groundwater pollution
C.6. Total groundwater volume	F.2.5. Other water resource protection measures
C.7. Groundwater depletion	F.2.6. Government and non-government water institutions
C.8. Natural discharge mechanism	F.2.7. Implementation, administration and enforcement of the legislation

* Podem ser utilizados dados nacionais ou locais; também estão disponíveis estimativas a partir de conjuntos de dados globais.
** Os aspectos legais e institucionais são avaliados através de questionários.

Fonte: IGRAC, UNESCO-IHP (2015)

A maioria dos dados necessários para a avaliação integrada dos recursos de águas subterrâneas não é recolhida pelos departamentos de águas subterrâneas mas provém de outros sectores, tais como serviços meteorológicos, planeamento do uso do solo, agricultura e serviços de estatística. Isto implica uma clara necessidade de intercâmbio activo e frequente de dados e informações entre os diferentes sectores, permitindo a avaliação integrada dos recursos de águas subterrâneas e o desenvolvimento de políticas verdadeiramente integradas.

Os dados recolhidos regularmente sob a responsabilidade dos departamentos de águas subterrâneas podem ser agrupados em duas categorias principais:

- Dados de localização de furos, perfuração e testes: Incluem todos os dados relevantes produzidos durante as actividades relacionadas com a instalação de novos furos. Estas actividades fornecem dois tipos de dados: dados hidrogeológicos sobre os aquíferos, por exemplo, dimensões e propriedades hidráulicas, que são normalmente fornecidos por investigações geofísicas, registos litológicos e testes de bombagem; e dados sobre os furos, que fornecem informações sobre a utilização das águas subterrâneas. Quer as actividades de sondagem, perfuração e ensaio sejam realizadas pelos próprios departamentos ou por outros intervenientes, os dados devem ser recolhidos e armazenados para utilização futura (*Ver* Capítulo 3); e
- Dados de monitorização das águas subterrâneas: Resultam de medições repetidas em locais determinados e em frequências escolhidas. Os dados mais comuns e variáveis temporais tipicamente monitorizados são os níveis das águas subterrâneas, a qualidade das águas subterrâneas e a abstracção das águas subterrâneas. Na região da SADC, a monitorização da qualidade das águas subterrâneas e da sua abstracção é muito limitada e frequentemente inadequada. Ao contrário dos dados de localização, perfuração e teste de furos que são recolhidos apenas uma vez sempre que são criados novos furos, a recolha de dados de monitorização das águas subterrâneas é planeada e organizada pelos departamentos de águas subterrâneas e, por conseguinte, requer abordagens diferentes em termos de organização e planeamento (Ver Capítulo 4).

Os dados da localização dos furos, perfurações e testes, bem como da monitorização das águas subterrâneas, são todos dados cruciais para compreender os sistemas aquíferos, o estado e as tendências dos recursos de águas subterrâneas. Dados fiáveis e actualizados sobre as águas subterrâneas são essenciais para desenvolver intervenções de gestão baseadas em factos e políticas de águas subterrâneas. Este Quadro visa contribuir para melhorar a recolha e a gestão destas duas categorias de dados.

2.3 Mensagens Principais

- **Dados fiáveis e actualizados sobre as águas subterrâneas são a única forma de desenvolver uma boa compreensão conceptual dos sistemas aquíferos e da dinâmica ou tendências no desenvolvimento dos recursos de águas subterrâneas; e**
- **Os departamentos de águas subterrâneas e outros sectores precisam de cooperar e trocar os dados e informações relevantes necessários para a avaliação integrada dos recursos de águas subterrâneas e para o desenvolvimento de políticas integradas.**

3 DADOS ESSENCIAIS DE SONDAGENS, PERFURAÇÕES E TESTES

3.1 Introdução

Os furos são perfurados para muitos fins, incluindo abastecimento de água, exploração e observação de águas subterrâneas. Em muitos casos, em particular furos perfurados para abastecimento público de água, o alvo da perfuração (localização e estimativa de profundidade) será determinado através de actividades de localização de furos, geralmente implicando geofísica. Após a perfuração, os furos são normalmente testados. Os testes podem ser feitos para determinar o rendimento seguro para bombeamento ou para determinar as propriedades hidrogeológicas do aquífero.

É crucial capturar e armazenar dados de localização de furos, perfuração e testes, uma vez que estes fornecem uma visão significativa sobre os aquíferos e sobre a utilização das águas subterrâneas. A este respeito, não importa se o furo foi bem sucedido, de baixo rendimento ou seco. Todos os furos fornecem dados significativos. Deve ser dada atenção aos dados de perfuração de furos, pois não podem ser recolhidos posteriormente. Os dados de perfuração e teste podem ser recolhidos duas vezes, mas definitivamente não é uma opção rentável.

Este capítulo fornece orientação sobre como organizar a recolha de dados de sondagens, perfurações e actividades de ensaio. Os Anexos A, B e C descrevem em pormenor as etapas a realizar na localização, perfuração e ensaio de novos furos, e os dados que saem em cada etapa. Este capítulo determina quais são os dados mais importantes que devem ser armazenados para utilização futura. Também explora como os departamentos de águas subterrâneas (ou autoridades relevantes) podem obter dados sobre a localização de furos, perfuração e testes recolhidos por outras partes interessadas.

3.2 Dados Relevantes Sobre a Localização de Furos, Perfuração e Testes

Durante a localização do furo, perfuração e testes, são recolhidos dados sobre o cenário hidrogeológico e sobre o próprio furo, como por exemplo:

- Profundidade e extensão dos aquíferos;
- Características hidrogeológicas relevantes, tais como conhecimentos tridimensionais sobre formações geológicas, fracturas, falhas e diques, obtidos a partir do levantamento geofísico;
- Registos litológicos detalhados descrevendo os diferentes tipos de rochas que foram perfuradas, informação sobre greves de água e a qualidade da água, obtida durante a perfuração; e
- Desempenho do poço e/ou propriedades hidráulicas do aquífero obtidas a partir de testes de furo.

Toda esta informação é crucial em qualquer estudo de águas subterrâneas, tal como para a localização de novos furos, estudos de modelação de águas subterrâneas e estudos de investigação detalhados. Todo o processo de localização, perfuração e ensaio é um processo dispendioso e é importante que os dados certos sejam recolhidos e armazenados em bases de dados estruturadas ou em arquivos de dados para utilização futura.

3.2.1 Colocação de Furos

A localização da posição certa para a perfuração de novos furos inclui normalmente investigações no local. Dependendo dos objectivos da perfuração e do orçamento, as

investigações no local podem consistir em simples visitas de campo ou envolver múltiplos métodos geofísicos. O processo de localização dos furos consiste em cinco etapas distintas cobrindo os seguintes aspectos chave:

- Os objectivos para cada etapa;
- O que tem de ser feito em cada etapa;
- Uma visão geral do equipamento necessário; e
- Dados e informações a recolher.

Os levantamentos geofísicos fornecem informações importantes para a localização de furos

A Tabela 3.1 fornece informação detalhada sobre os passos a seguir durante o processo de perfuração e os dados e informações recolhidos em cada passo. As etapas 1, 2 e 3 são etapas preparatórias, fazendo uso de dados previamente existentes (por exemplo, a partir de bases de dados nacionais). Novos dados são gerados e processados nas Etapas 4 e 5.

Os seguintes dados das Etapas 4 e 5 têm de ser capturados e armazenados em bases de dados (nacionais) nos departamentos de águas subterrâneas ou outras autoridades relevantes:

- Dados brutos do levantamento geofísico, incluindo a localização exacta e a data do levantamento; e
- Relatório com os resultados (interpretações) do levantamento geofísico, incluindo dados sobre as técnicas e equipamento utilizados, bem como o empreiteiro / tripulação que faz o levantamento.

É necessário um cuidado extra para assegurar que os dados em bruto e o relatório de cada estudo geofísico possam ser ligados na base de dados através de algum tipo de identificador único, e/ou marcador de lugar geográfico (*ver* também Caixa 3.1).

Tabela 3.1 Passos do processo de sondagem com dados e informações recolhidos em cada passo

Actividade	Objectivos	Dados-chave e informações a recolher
1. Estudo de ambiente de trabalho	• Desenvolver uma compreensão conceptual preliminar da hidrogeologia da área	Ter um entendimento geral de: • Registos de furos existentes, por exemplo, localização de furos num raio de influência específico da área de interesse (por exemplo, raio de 2 km), greves de água, litologia, rendimentos e níveis de águas subterrâneas • Controlos geológicos da ocorrência de águas subterrâneas • Tipos de aquíferos típicos que ocorrem à escala regional e à escala local, caso existam

2. Hidro-censo e passeio no local	• Identificar e compreender as actividades de utilização de águas subterrâneas dentro da área de interesse • Confirmação das informações recolhidas na etapa 1	• Dados de localização dos furos (x, y, z) • Dados de utilização dos furos • Registos de rendimentos para furos instalados com contadores de água • Ter uma ideia inicial sobre a disposição das travessias para o levantamento geofísico
3. Relatório intercalary	• Plano de levantamento geofísico de campo	• Decidir/recomendar o tipo de equipamento adequado ao levantamento geofísico de campo com base na compreensão das condições do local • Conceber o traçado das travessias no mapa para o levantamento geofísico.
4. Campo levantamento geofísico	• Localizar o alvo de perfuração adequado utilizando um método(s) geofísico(s) adequado(s) e equipamento recomendado no relatório intercalar (Actividade 4)	• **Dados dos parâmetros geofísicos investigados,** • **Coordenadas dos pontos de partida e de chegada das travessias,** • Identificação de potenciais locais de perfuração
5. Relatório de localização do furo	• Dar uma descrição detalhada do trabalho de sondagem e das principais descobertas (Actividade 1-5)	• Dados e análises para motivar o alvo seleccionado • Coordenadas do alvo de perfuração, • Descrição do alvo de perfuração, por exemplo, características geológicas a ser alvo como falha, fracturas, etc.., • Profundidade estimada das greves de água e profundidade global de perfuração, • O desenho básico provisório do poço pode fazer parte desta fase • **Relatório incluindo todas as actividades (1-5).**

O **texto em negrito** indica dados que devem ser armazenados em bases de dados ou arquivos de dados.

Caixa 3.1 Identificadores únicos para dados de localização, perfuração e ensaio de furos

Identificação dos dados:

Para assegurar que os dados possam ser facilmente encontrados num arquivo ou base de dados e possam ser ligados a um local de furo específico, os dados devem ser armazenados sob um identificador único e de preferência lógico, e se a base de dados o permitir, deve ser também possível efectuar uma pesquisa geográfica. Os nomes geográficos são frequentemente utilizados para identificar dados de estudos hidrogeológicos. Contudo, a utilização de nomes geográficos não é o método mais robusto, uma vez que a localização não é muito precisa e, no caso existem diferentes ortografias, pode ser muito difícil encontrar os dados na base de dados (*Ver* Caixa 3.2).

Para dados de perfuração, o identificador preferido é o número de furo nacional, e as coordenadas actuam como outra ferramenta para localizar os dados a partir de um mapa. O número de furo deve também ser utilizado para os dados dos testes de furo (ou aquífero). No caso de serem utilizados furos múltiplos para observar alterações na cabeça piezométrica para fins de teste do aquífero, o furo bombeado seria o identificador preferido.

Para dados relacionados com a localização do furo, o identificador não é tão óbvio como muitas vezes o número do furo ainda não estará disponível / atribuído. Se os dados relativos à localização do furo estiverem relacionados com um furo específico, então o número do furo deve ser utilizado tanto quanto possível. No caso de um estudo geofísico cobrir uma área maior, que resultou na localização de vários furos, a coordenada do ponto central do estudo (geofísico) de localização poderia ser utilizada como identificador. Dependendo da funcionalidade da base de dados, características geográficas mais avançadas, tais como a caixa de delimitação das travessias geofísicas, podem adicionalmente ser utilizadas para localizar dados.

3.2.2 Perfuração de Furos

Tal como na localização de um furo, existem múltiplas etapas no processo de perfuração. O Anexo B dá uma visão geral das diferentes etapas, incluindo as responsabilidades do perfurador e do supervisor e os dados chave a serem recolhidos em todas as etapas do processo de perfuração.

Os dados que devem ser armazenados em bases de dados nacionais nos departamentos de águas subterrâneas ou outras autoridades relevantes incluem:

- Localização e data;
- Construção do furo (por exemplo, geometria, materiais, crivagem, bomba);
- Registo litológico: um registo das litologias encontradas durante a perfuração (profundidade vs. tipo de formação, textura, cor, estado da meteorologia);
- Taxas de penetração por profundidade;
- Profundidade de greves de água, zonas de fluxo de águas subterrâneas permeáveis/preferenciais;
- Rendimento do sopro de cada golpe de água;
- Qualidade da água de cada greve (por exemplo, pH e CE como indicadores);
- Desenhos e dimensões reais dos furos;
- Detalhes de construção do furo - invólucro, crivo e cascalho/profundidade da areia;
- Opcional: Descrição do local com fotografias; e
- Relatório de perfuração.

A Tabela 3.2 destaca os dados-chave a serem recolhidos em cada fase. As etapas 4 (perfuração), 5 (construção de furos) e 8 (documentação) são as etapas em que são recolhidos os dados essenciais que devem ser armazenados em bases de dados (nacionais) nos departamentos de águas subterrâneas ou outras autoridades relevantes. Os dados de perfuração são cruciais para compreender os sistemas de águas subterrâneas.

Como exemplo, a Figura 3.1 mostra o registo litológico de um furo com duas greves de água distintas, juntamente com o modelo conceptual hidrogeológico interpretado. Neste caso: um aquífero não confinado separado de um aquífero confinado mais profundo por uma camada confinante.

A medição do nível da água no furo aberto não captará a diferença em cabeças piezométricas (e o fluxo vertical potencial) entre os dois aquíferos. O exemplo mostra claramente que os piezómetros terão de ser colocados em cada aquífero para medir correctamente (tendências em) as cabeças de água subterrâneas em cada aquífero.

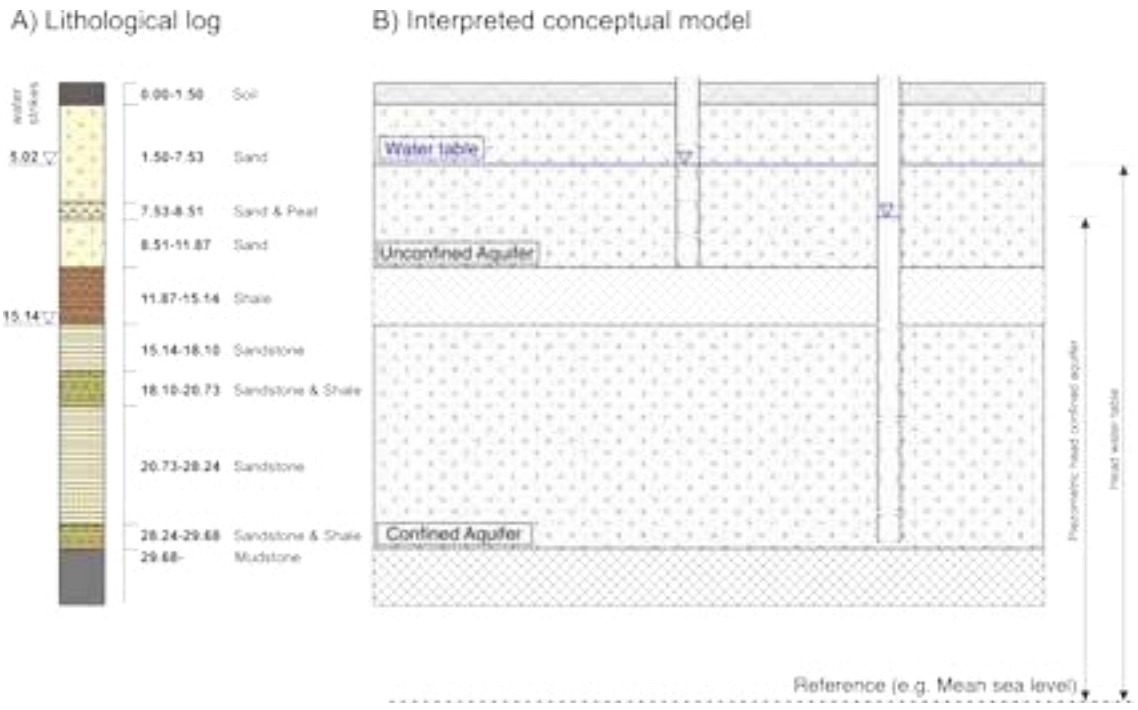


Figura 3.1 Exemplo de registo litológico da perfuração de furos e modelo hidrogeológico conceptual, interpretado a partir dos resultados da perfuração

Deve-se ter o cuidado de ligar todos os dados ao orifício de perfuração correcto. Isto é geralmente feito atribuindo um número único de identificação do furo a cada furo (*Ver* Caixa 3.1). Se não forem recolhidos correctamente durante a perfuração e a construção do furo, dados como o registo litológico, as profundidades de golpe de água e os dados de construção do furo podem perder-se para sempre, porque são muito caros para recolher a seguir. Por exemplo, a recolha do tronco litológico num furo equipado com um invólucro exigirá a perfuração de um novo furo.

Tabela 3.2 Passos no processo de perfuração de furos com dados e informações recolhidos em cada passo

Furos de sondagem fases de supervisão	Fase de recolha de dados-chave
1. Fontes de abastecimento para o furador apropriado	• Orçamento inicial de serviços do empreiteiro de perfuração para perfuração, construção, desenvolvimento e conclusão
2. Pré-mobilização	• Perfuradora mais rentável e capaz seleccionada para nomeação • Indicação de satisfação com a qualidade do material e também a capacidade do furador, caso contrário: • Fazer recomendações ao perfurador para melhorias, • Se não estiver satisfeito com o material, comunique com o furador e procure separadamente, se possível, o que considera mais adequado
3. Mobilização	• Os líderes comunitários estão conscientes da presença da perfuração e deram o seu consentimento, • O perfurador chegou ao local e está pronto para a perfuração,
4. Perfuração	• **Data da perfuração** • **Localização exacta do furo** • **Registos litológicos (normalmente por 1 metro de profundidade de perfuração) tais como: tipo de formação, textura, cor, estrutura, estado de intempérie, etc.** • **Taxas de penetração por 1 metro de profundidade de furação** • **Profundidade da greve de água,** • **Rendimento do sopro de cada golpe de água e finalmente final,** • **Qualidade da água de cada greve (Utilizar pH e CE como indicadores)** • **Desenhos e dimensões reais do furo** • **Detalhes de construção do furo - carcaça, crivo do poço e cascalho/arenito de profundidade** • **Opcional: Descrição do sítio com fotografias**
5. Construção de furos	• **Desenhos e dimensões reais do furo** • **Detalhes de construção do furo - carcaça, crivo do poço e cascalho/arenito de profundidade** • **Opcional: Descrição do sítio com fotografias**
6. Desenvolvimento e conclusão	• Furo de sondagem concluído, agora à espera de entrega ao cliente/autoridades responsáveis, • Registo dos dados do nível das águas subterrâneas após a sua conclusão, • Registo abaixo do rendimento e profundidade dos golpes
7. Desmobilização	• O local de perfuração está agora limpo e restaurado no seu estado anterior e pronto para ser entregue. • Começar a compilar o relatório de perfuração

8. Documentação e a entrega	Apresentar o **relatório de perfuração** e entregar o furo ao cliente. • O relatório deve documentar todo o processo de instalação do furo, analisar os dados obtidos e desenvolver um desentendimento conceptual inicial do aquífero onde o furo foi perfurado. • Tal entendimento conceptual inicial deve incluir aspectos tais como registos litológicos, localização de zonas de fluxo principal (greves de água), cabeças piezométricas/hidráulicas, estrutura e tipo do aquífero

O **texto em negrito** indica dados que devem ser armazenados em bases de dados ou arquivos de dados. *Ver* Anexo B.

Caixa 3.2 Questões potenciais no registo da localização dos furos

Localização/coordenadas dos furos:

No inventário do estado actual da recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas nos Estados Membros da SADC (IGRAC e IGS, 2019b) e a partir da experiência em projectos de águas subterrâneas, notou-se que o registo adequado de um local de furo único não é óbvio.

Uma questão comum é que, para furos antigos, a localização não é muitas vezes exactamente conhecida. Isto pode ser porque o furo foi perfurado antes da utilização de GPS e foi utilizado um mapa topográfico em pequena escala para traçar o local, ou múltiplos furos numa quinta são todos traçados no mesmo local (aleatório) na quinta. Há também problemas com o uso de diferentes projecções cartográficas e sistemas de coordenadas no passado, e as localizações dos furos antigos não foram convertidas para o novo sistema.

Existem também questões menos óbvias de que um furo pode ter múltiplas coordenadas diferentes, o que cria confusão. Por exemplo, porque as coordenadas eram registadas em momentos diferentes, com equipamento e precisão diferentes (por exemplo, durante a perfuração, durante a construção e durante os testes ou levantamentos do furo). Se tal situação existir, é importante limpá-la na base de dados e decidir sobre uma coordenada (exacta) para descrever a localização do furo. Isto pode exigir trabalho de campo adicional.

3.2.3 Testagem de Furos

Para testar o desempenho dos furos, estimar o rendimento sustentável e estimar as propriedades hidráulicas do aquífero. Os testes para o desempenho do furo e a estimativa do rendimento sustentável são muitas vezes denominados teste de desempenho de poço ou teste de furo, enquanto os testes para calcular as propriedades físicas ou hidráulicas do aquífero/sistema de aquíferos tendem a ser referidos como testes de bombeamento. Estão disponíveis muitos métodos diferentes dependendo do objectivo específico do teste, da disponibilidade de furos de observação adequados no raio de influência do furo bombeado e da compreensão conceptual do aquífero ou sistema de aquíferos. A Tabela 3.3 fornece uma visão geral das principais etapas e resultados esperados dos testes de perfuração.

O Anexo C fornece uma visão geral mais completa na descrição de considerações e passos nos testes de perfuração e no estabelecimento de testes de bombagem.

Os seguintes dados dos testes de furos devem ser armazenados em bases de dados (nacionais) nos departamentos de águas subterrâneas ou outras autoridades relevantes:

- Localização dos testes de bombagem (furos de bombagem e furos de observação, se existirem);
- Data do teste de bombagem;
- Tipo de teste de bombagem;
- Duração do teste de bombagem;
- Dados variáveis em termos de tempo:
  - Taxa de bombeamento contra o tempo
  - Para cada furo: Sorteio e/ou recuperação contra o tempo

Relatório sobre os resultados da análise do teste de perfuração/ bombeamento, incluindo (se for caso disso):

- Características de desempenho do poço - Capacidade específica e eficiência do poço;

- Rendimento sustentável/Seguro/Rendimento fiável; e
- Características físicas/hidráulicas do aquífero/sistema aquífero: condutividade hidráulica ou transmissividade, armazenamento específico ou estoratividade, rendimento específico, resistência hidráulica.

Tabela 3.3 Um resumo das principais etapas e expectativas dos testes de bombagem do aquífero

Etapa	Finalidade	Dados-chave a recolher	Parâmetros estimados
Planeamento	Para permitir a preparação do teste de descarga de taxa constante	• Localização do local, • Data, • A profundidade das greves de água, • Litologia de aquíferos, • Rendimento do sopro, • Consulte o relatório de perfuração	Não aplicável
Condutividade eléctrica do fluido de furo (FEC) traçar perfis	Localizar greves de água e zonas de fluxo de águas subterrâneas	• Perfil FEC Borehole	• Profundidade das greves de água e águas subterrâneas zonas de fluxo
Teste de calibração	Seleccione o CRD apropriado	• Tempo e níveis de água subterrânea (retirar), • Taxas de descarga por etapas.	• CRD apropriado
Teste de tracção por etapas	Avaliar bem as características de eficiência	• Tempo e níveis de água subterrânea (retirar), • Taxas de descarga por etapas.	• Eficiência do poço, • Propriedades hidráulicas
Testes de tracção de taxa constante (CRD)	Estimar o rendimento do furo/rendimento fiável, Estimar as propriedades do aquífero - draúlicas e de armazenamento	• Tempo e níveis das águas subterrâneas (drawdown), • CRD médio	• Rendimento sustentável/fiável • Propriedades hidráulicas do aquífero\aqu. tardio
Teste de recuperação	Estimativa das propriedades hidráulicas e de armazenamento do aquífero Avaliar a % de recuperação	• Tempo residual, • Níveis residuais das águas subterrâneas	• Propriedades hidráulicas • Avaliar a % de recuperação

3.3 Estratégias para Incentivar a Participação das Partes Interessadas na Obtenção de Dados Essenciais

As secções anteriores descreveram os dados essenciais que devem ser recolhidos de sondagens, perfurações e testes, para armazenamento em bases de dados de águas subterrâneas ou em arquivos de dados. O desafio na manutenção de bases de dados e arquivos de dados actualizados é assegurar que os dados correctos sejam devidamente registados no terreno e que os dados sejam submetidos à secção responsável pela gestão das bases de dados e arquivos de dados (*Ver* também Capítulo 5 sobre controlo de qualidade). Para que este processo tenha êxito, é crucial conhecer as partes interessadas envolvidas e criar incentivos para que estas recolham e apresentem os dados correctos. As partes interessadas envolvidas nas

diferentes fases podem ser:

- Funcionários governamentais (do departamento de água, inquérito geológico);
- Funcionários de outras organizações públicas ou semi-públicas (tais como empresas de abastecimento de água);
- Consultores (hidrogeológicos e/ou geofísicos, empresas de perfuração de furos); e
- Proprietários de furos que podem ser o próprio governo, organizações semi-públicas/para-estatais, empresas privadas ou proprietários individuais de poços privados.

É importante encontrar formas de envolver e encorajar a participação permanente dos interessados na recolha de dados essenciais de perfuração, localização e teste de furos e fornecer os dados ao departamento governamental relevante para armazenamento em arquivos de dados ou bases de dados. São necessárias diferentes estratégias, dada a variedade de partes interessadas. As estratégias podem envolver a criação de um ambiente estimulante (por exemplo, facilitando a recolha e apresentação dos dados) e podem incluir instrumentos legais ou regulamentares para assegurar que os dados sejam recolhidos e apresentados.

3.3.1 Promoção da Recolha de Dados sobre Águas Subterrâneas

Existem várias estratégias para os departamentos de águas subterrâneas para encorajar os interessados em todos os sectores (público, semi-público e privado) a recolher dados essenciais e submetê-los para armazenamento em arquivos de dados ou bases de dados. Estas incluem:

- **Simplificar o registo e a apresentação de dados**
  Isto pode ser feito especificando claramente a lista mínima de dados e os formatos de dados necessários. Formulários de campo claros e fáceis de usar podem orientar e simplificar a recolha de dados. Ferramentas modernas tais como aplicações para telemóveis podem facilitar ainda mais o registo preciso dos dados (fazendo uso de formulários de campo digitais que podem incluir verificações simples e opções predefinidas) e que podem também facilitar o envio dos dados (por exemplo, exportando ficheiros de dados que podem ser partilhados via correio electrónico, ou mais avançados, enviando os dados directamente para a base de dados).
- **Formar os interessados**
  Para muitos dos intervenientes envolvidos, a recolha e, em particular, a apresentação de dados para fins de arqui-ving não é uma prioridade máxima. Alguns podem também não saber quais os dados que precisam de ser recolhidos. Para aumentar a sensibilização sobre a importância destes dados e para capacitar os interessados na recolha dos dados correctos, os departamentos de águas subterrâneas podem organizar workshops/ fornecer instruções claras sobre recolha e submissão de dados, não só para os técnicos de campo nos seus próprios departamentos, mas também para outros interessados, tais como empresas de perfuração e consultorias.
- **Proporcionar às partes interessadas acesso aos dados**
  A SADC-GMI (2018) afirma que a questão do acesso público aos dados sobre águas subterrâneas na posse do Estado é mal articulada a nível político. Esta questão deve ser abordada. Se os interessados puderem facilmente fazer uso dos dados e informações das bases de dados nacionais para os seus próprios fins, então poderão ficar mais inclinados a contribuir para estas bases de dados, fornecendo dados das suas próprias actividades de sondagem, perfuração e teste.
- **Abordar questões relacionadas com dados sensíveis**
  Tem de ser claro para os interessados quais dos dados que são solicitados a fornecer serão utilizados, por quem e para que fins. Caso contrário, as partes interessadas podem estar relutantes em submeter dados.

- **Aumentar a consciencialização sobre os benefícios dos dados**
  A análise e interpretação dos dados relativos às águas subterrâneas na região da SADC é muito limitada (IGRAC, 2019b). É importante que os departamentos de águas subterrâneas desenvolvam produtos informativos, com base nos dados dos arquivos / bases de dados nacionais, para mostrar a importância desses dados ao público em geral e em particular aos profissionais de águas subterrâneas, tais como perfuradores e consultores. Isto pode ser, por exemplo, mapas da produtividade dos aquíferos, modelos conceptuais dos sistemas de aquíferos, etc., mas também através de relatórios regulares sobre a gestão dos recursos nacionais de águas subterrâneas. O valor para os proprietários individuais de furos privados submeterem dados poderia ser obter aconselhamento gratuito sobre o estado do seu furo em termos de rendimento e qualidade ("exame de saúde dos furos ").

3.3.2 Instrumentos Legais e/ou Regulamentares

O governo através dos departamentos de águas subterrâneas relevantes é o guardião de todos os recursos de águas subterrâneas, e os instrumentos legais aplicáveis fazem parte das estratégias para assegurar que os dados essenciais sejam recolhidos e apresentados ao governo. Os instrumentos jurídicos vinculativos podem ser aplicados aos principais interessados nas seguintes considerações:

- **Registo ou licenciamento da perfuração de furos e da utilização de águas subterrâneas**
  Todos os proprietários de furos, através do registo obrigatório ou licenciamento de furos e/ou de utilização de águas subterrâneas com condições de submissão de dados, podem ser obrigados a recolher e submeter dados sobre localização, perfuração e testes. Para sectores específicos, tais como instalações de resíduos (por exemplo, aterros, lixeiras, etc.), a recolha e apresentação de dados essenciais sobre águas subterrâneas pode também ser organizada através das licenças de exploração.
- **Licenciamento e/ou registo profissional**
  Para perfuradores e consultores, a condição para registar e submeter prontamente dados essenciais de forma adequada pode fazer parte da sua licença de funcionamento e/ou registo profissional.
- **Acordos contratuais**
  Os documentos de concurso para trabalhos relacionados com os recursos hídricos subterrâneos para o sector (semi)público devem incluir condições para a recolha e apresentação de dados essenciais.

A implementação bem sucedida dos instrumentos legais e regulamentares exige não só que estes instrumentos sejam desenvolvidos conforme necessário, mas acima de tudo exige a aplicação da lei no terreno. Muitas vezes não existem regulamentos para proteger os recursos de águas subterrâneas e, onde estes existem, muitas vezes não há aplicação ou sanção de actividades ilegais (SADC-GMI, 2018). É necessário desenvolver a capacidade de fazer cumprir a regulamentação sobre águas subterrâneas (não só em relação à recolha de dados sobre águas subterrâneas, mas, mais importante ainda, sobre a utilização das águas subterrâneas e a protecção da qualidade das águas subterrâneas). Dependendo da estrutura organizacional do governo, poderá ser mais eficiente desenvolver esta capacidade dentro do sector mais vasto da aplicação da lei ambiental, em vez de especificamente para as águas subterrâneas.

3.4 Mensagens Principais

- **Os dados de sondagens, perfurações e testes são essenciais para o desenvolvimento de entendimentos conceptuais dos sistemas de aquíferos e para gerir de forma sustentável as captações de águas subterrâneas;**
- **Os dados da perfuração e construção de furos são virtualmente perdidos se não forem devidamente registados durante a fase de perfuração e construção. É, portanto, crucial estabelecer procedimentos que permitam a todos os interessados registar adequadamente esses dados essenciais e submetê-los para armazenamento em arquivos de dados ou bases de dados; e**
- **Os departamentos de águas subterrâneas precisam de iniciar actividades para estimular ou mesmo obrigar as partes interessadas a submeter os dados essenciais da perfuração, testes e localização de furos. A aplicação dos regulamentos relativos às águas subterrâneas exige o desenvolvimento de capacidades no domínio da aplicação da lei ambiental.**

4 ASPECTOS ORGANIZACIONAIS E DE PLANEAMENTO DA MONITORIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1 Introdução

A monitorização das águas subterrâneas é a medição contínua de variáveis como os níveis das águas subterrâneas, qualidade ou abstracção para avaliar o estado e as tendências. Enquanto a recolha de dados de sondagens, perfurações e testes (tratados no capítulo 3) é realizada numa base ad hoc, a recolha de dados de monitorização das águas subterrâneas é contínua, pelo que é necessário um planeamento e organização adequados a longo prazo.

Este capítulo centra-se nos aspectos organizacionais e de planeamento do desenvolvimento e implementação de programas de monitorização das águas subterrâneas. O capítulo começa com uma discussão sobre os objectivos e a escala dos programas de monitorização. Posteriormente, são discutidos aspectos organizacionais e de planeamento do desenvolvimento e implementação de um programa de monitorização. Este fornece orientações para a criação de programas de monitorização das águas subterrâneas com objectivos claros e ambições realistas (em termos de custos de equipamento, logística e pessoal) que podem ser mantidos por longos períodos de tempo. O capítulo não abrange considerações hidrogeológicas para a concepção de redes de águas subterrâneas, protocolos e procedimentos de monitorização das águas subterrâneas, uma vez que já existem amplas orientações, manuais e documentos científicos disponíveis sobre estes tópicos. O capítulo conclui com uma discussão sobre uma forma alternativa de recolha de dados através da monitorização das águas subterrâneas baseada na comunidade.

Ao longo deste capítulo, os autores fizeram um uso extensivo da Directriz sobre Monitorização de Águas Subterrâneas para Fins Gerais de Referência (IGRAC, 2008), que é altamente recomendada para uma leitura mais aprofundada aquando do desenvolvimento de um programa de monitorização das águas subterrâneas.

4.2 Objectivos e Escalas da Monitorização das Águas Subterrâneas

Diferentes questões ou objectivos de monitorização exigem dados diferentes e, portanto, diferentes programas de monitorização (parâmetros a monitorizar, distribuição espacial tridimensional ou rede de pontos de observação, e frequência de observação). A ausência de objectivos de monitorização claros levará a programas de monitorização ineficientes. Muitas deficiências na monitorização das águas subterrâneas podem ser explicadas pela ausência de objectivos de monitorização claros, na SADC e noutras regiões do mundo (Tuinhof, et al. 2006). A definição clara dos objectivos da monitorização das águas subterrâneas é o primeiro passo.

Medição dos níveis das águas subterrâneas

É necessário definir as perguntas que deseja responder utilizando os dados de monitorização (Caixa 4.1).

Exemplos incluem:

- Qual é a tendência geral na disponibilidade de recursos de águas subterrâneas num aquífero ou numa área (monitorização de referência geral)?
- Existe alguma fuga de contaminantes de uma instalação industrial (monitorização da contenção da poluição)?
- Qual é a qualidade esperada a longo prazo das águas subterrâneas captadas no campo do poço para abastecimento público de água (monitorização de protecção)? e
- Qual é o regime de bombagem segura no campo do poço para o abastecimento público de água (monitorização da protecção)?

Estas diferentes questões/objectivos de monitorização determinam que parâmetros são necessários a partir de que locais e com que frequência. A Tabela 4.1 apresenta uma visão geral dos programas de monitorização categorizados por objectivo e escala de monitorização, e em relação às fases de desenvolvimento e gestão das águas subterrâneas.

A medição dos níveis de água faz parte da monitorização das águas subterrâneas

Tabela 4.1 Classificação das redes de monitorização das águas subterrâneas com base nos objectivos de monitorização

Estágio de desenvolvimento das águas subterrâneas & gestão	Categoria principal		Objectivo/função(ões) de monitorização		Escala**	Localização dos poços
Reconhecimento do sistema de águas subterrâneas	Monitorização de recursos*	Monitorização de melhoramentos	Caracterizar o sistema de águas subterrâneas (quantidade e qualidade) Estimativa do potencial para o desenvolvimento das águas subterrâneas		Regional***	Utilização dos pontos de observação existentes
Fase inicial da exploração das águas subterrâneas e desenvolvimento		Básico - Referência geral monitorização	Identificar tendências no tempo de armazenamento das águas subterrâneas Identificar tendências no tempo em termos de qualidade das águas subterrâneas Estudar e prever os impactos regionais das captações de águas subterrâneas	Determinar os efeitos (positivos) das intervenções de gestão das águas subterrâneas	Regional***	Melhoria da rede de pontos de observação (existentes e novos)
Estágio de exploração e gestão intensiva das águas subterrâneas		Primário - Controlo de referência	Avaliação do comportamento geral das águas subterrâneas: • tendências resultantes da alteração do uso do solo, da utilização das águas subterrâneas e da variação climática • processos tais como recarga, fluxo e contaminação difusa		Regional	Rede optimizada em áreas uniformes no que diz respeito à hidrogeologia e ao uso do solo, e longe da influência directa de bombagem
	Redes secundárias	Controlo de protecção ou Controlo de conformidade	Protecção de: • recurso estratégico de águas subterrâneas • campos de poços/cabeças de poços para abastecimento público de água • infra-estruturas urbanas de subsidência de terrenos • sítios arqueológicos contra a subida dos lençóis freáticos • ecossistemas dependentes das águas subterrâneas • contra impactos potenciais (por exemplo, de abstracção, poluição, alterações no uso do solo)		Regional Local em alguns casos (por exemplo, recurso estratégico de águas subterrâneas em regional aquífero)	Em redor de áreas/instalações/características que requerem protecção
		Monitorização da contenção da poluição ou Controlo de conformidade	Informação de alerta precoce dos impactos das águas subterrâneas: • uso intensivo do solo agrícola • instalações industriais com riscos de poluição das águas subterrâneas • aterros para resíduos sólidos e estações de tratamento de água • pedreiras e minas, etc.		Local	Gradiente hidráulico imediatamente para baixo e para cima, a partir do perigo
	redes	Acompanhamento do projecto (temporário!)	Acompanhamento específico, muitas vezes temporário, para estudar um fenómeno específico, como por exemplo: • investigação específica (estado de contaminação) • efeito de uma intervenção (por exemplo, medida correctiva)		Local (principalmente)	Definido por fenómeno a ser estudado

* Na transição de Impromptu - Básico - Monitorização primária dos objectivos / funções acumulam-se. ou seja, uma rede de monitorização de referência primária devidamente concebida ainda cumpre os objectivos da monitorização de Impromptu e Basic. Isto é indicado na tabela pela linha tracejada.

** Regional / Local. Regional pode ser sub-nacional (e.g. aquífero regional), nacional, supra nacional (e.g. aquífero transfronteiriço, SADC-região)

*** Pode já existir alguma monitorização à escala local (secundária, terciária ou quaternária), também nestas fases iniciais.

Fonte: Modificado de IGRAC (2008) e Tuinhof, et al. (2006).

Os objectivos de monitorização podem evoluir (como mostrado na Tabela 4.1), de monitorização de referência não planeada, utilizando simplesmente dados de furos existentes e sem definição prévia de objectivos de monitorização e/ou rede de monitorização, para redes de referência primária bem concebidas, complementadas por redes de monitorização secundária e terciária. As redes de monitorização secundárias e terciárias exigirão geralmente uma distribuição mais densa de pontos de dados, possivelmente com maior frequência de monitorização. Em termos de medições da qualidade das águas subterrâneas, poderão ser necessários mais parâmetros a analisar.

Embora seja evidente que diferentes objectivos de monitorização requerem diferentes programas de monitorização, é essencial perceber que um local de monitorização (furo) pode fazer parte de múltiplos programas de monitorização. Como exemplo, a Figura 4.1 ilustra como alguns pontos de observação (e os dados recolhidos a partir desses pontos) podem contribuir para diferentes programas de monitorização. Por exemplo, um ponto pode servir na monitorização de protecção local, na monitorização geral nacional de referência e na rede internacional, mas nem todos os pontos da monitorização de protecção local são utilizados para responder a questões relacionadas com a grande rede internacional.

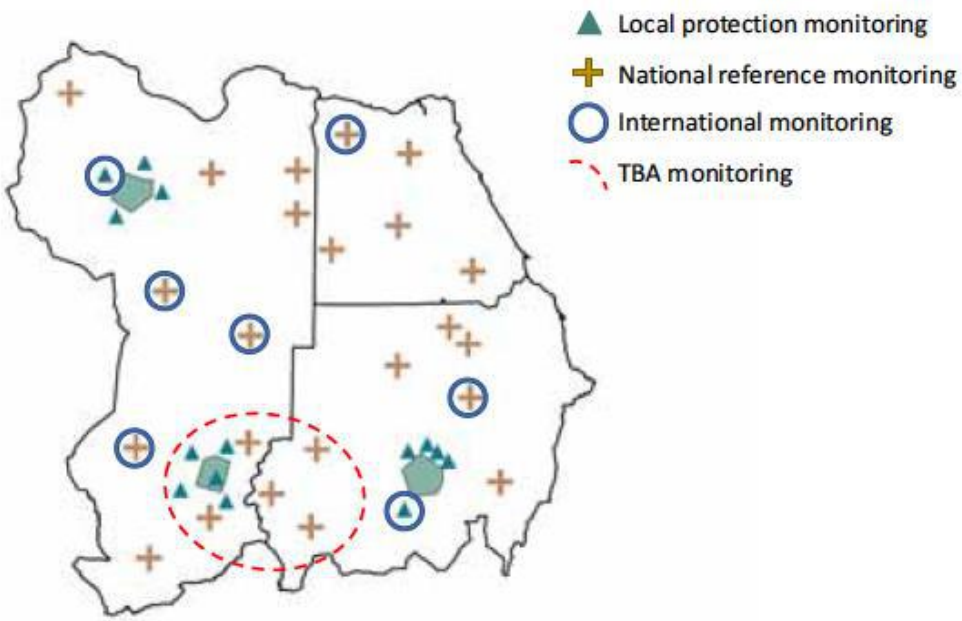


Figura 4.1 Sinergias entre diferentes programas de monitorização

Outro exemplo seria num programa de monitorização da qualidade das águas subterrâneas em que é amostrada anualmente uma selecção de pontos de monitorização para monitorizar as tendências no tempo, enquanto um maior número de pontos pode ser utilizado para relatórios quinquenais sobre a distribuição espacial da qualidade da água (IGRAC, 2008).

A utilização eficaz de dados de um único local de monitorização para diferentes programas de monitorização requer cooperação entre organizações envolvidas na monitorização a diferentes escalas e este processo beneficia de bases de dados nacionais sobre águas subterrâneas bem estruturadas e amplamente acessíveis (capítulo 6). Os programas de monitorização transfronteiriços fazem geralmente uso de dados recolhidos em programas nacionais ou locais. Nos Estados Unidos da América, foi criada uma Rede Nacional de Monitorização das Águas Subterrâneas com base nos programas de monitorização existentes a nível federal, multiestatal, estatal, tribal e local (Caixa 4.2). Esta é também a estratégia que foi recomendada para desenvolver um programa de monitorização a nível da SADC (Wellfield Consulting Services, British Geological Survey, 2011a; Wellfield Consulting Services, British

Geological Survey 2011b; Wellfield Consulting Services, British Geological Survey e 2011c).

Caixa 4.1 Exemplos de objectivos de monitorização das águas subterrâneas

Necessidades de dados relacionados com o estado e desenvolvimento das águas subterrâneas:

- Gestão sustentável das captações das águas subterrâneas;
- Determinação dos melhores locais para a captação de águas subterrâneas;
- Estudo dos efeitos das alterações climáticas nos recursos de águas subterrâneas; e
- Informar periodicamente os gestores ou o público em geral sobre o estado real das águas subterrâneas.

Necessidades de dados relacionados com a protecção dos sistemas de águas subterrâneas e do ambiente:

- Protecção dos sistemas de águas subterrâneas contra a sobre-exploração;
- Protecção das áreas de conservação da natureza contra o declínio dos lençóis freáticos;
- Protecção dos aquíferos contra a contaminação de "fontes pontuais", tais como minas, ou locais de eliminação de resíduos;
- Controlo da intrusão ou subida de água salina em aquíferos; e
- Protecção dos aquíferos contra a contaminação por fontes difusas de po

Modificado de: IGRAC (2018) Directriz sobre Monitorização de Águas Subterrâneas para Fins Gerais de Referência

Caixa 4.2 Rede Nacional de Monitorização das Águas Subterrâneas dos Estados Unidos - Inspiração para uma rede de monitorização das águas subterrâneas em toda a SADC

O Subcomité de Águas Subterrâneas (SOGW) dos Estados Unidos, http://acwi.gov/sogw/pubs/tr/index.html), juntamente com os seus grupos de trabalho, inclui mais de 70 pessoas representando o sector privado e 54 organizações diferentes, incluindo organizações não-governamentais, agências estatais e locais, agências federais, e instituições académicas. O SOGW foi incumbido pelo Comité Consultivo Federal de Informação sobre a Água (ACWI) de desenvolver um quadro que estabelece e incentiva a implementação de uma rede de monitorização a longo prazo da quantidade e qualidade das águas subterrâneas. Este quadro conduziu à criação de uma Rede Nacional de Monitorização das Águas Subterrâneas (NGWMN), fornecendo dados e informações necessárias para o planeamento, gestão e desenvolvimento dos recursos de águas subterrâneas de uma forma sustentável (ou seja, para satisfazer as necessidades actuais e futuras de água e os requisitos dos ecossistemas). Os dados da NGWMN são partilhados através de um portal dedicado: https://cida.usgs.gov/ngwmn/

A NGWMN é concebido como um sistema voluntário, cooperativo e integrado de recolha, gestão e comunicação de dados, que fornecerá os dados necessários para ajudar a resolver questões de gestão de águas subterrâneas presentes e futuras. Assim, a NGWMN pode ser pensado como uma agregação de poços seleccionados a partir de redes de monitorização de águas subterrâneas federais, multiestaduais, estatais, tribais, e locais já existentes, completadas em aquíferos seleccionados em toda a Nação. Tira partido, mas também procura melhorar, dos esforços de monitorização existentes.

A NGWMN fornecerá dados que podem ser utilizados para avaliar as condições de base e tendências a longo prazo dos níveis e qualidade da água em aquíferos importantes à escala nacional, multi-estadual e regional.

Fonte: SOGW (2013)

4.3 Desenvolver um Programa de Monitorização

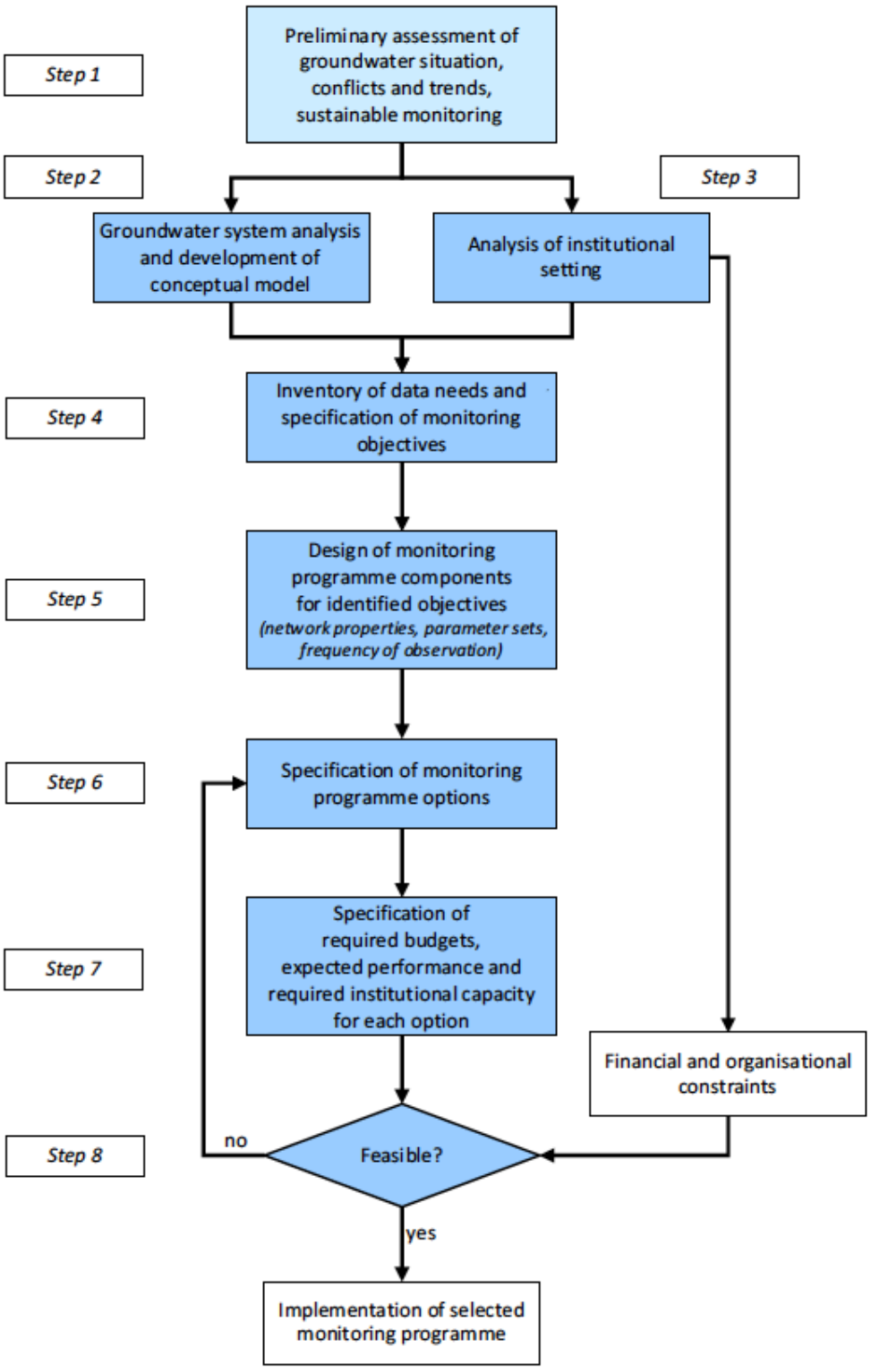
O IGRAC (2008) apresenta a concepção e a implementação de um programa de monitorização das águas subterrâneas como um processo por etapas, como mostrado na Figura 4.2 com mais detalhes na Caixa 4.3. As etapas visam garantir que os programas de monitorização sejam desenvolvidos de modo a fornecerem os dados correctos aos utilizadores (instituições e pessoas envolvidas na avaliação, desenvolvimento, gestão e protecção das águas subterrâneas ou outras actividades dependentes de dados relativos às águas subterrâneas) dentro do orçamento,

capacidade e disposições institucionais disponíveis.

Está para além do âmbito deste Quadro a discussão de todos os aspectos em pormenor. Para tal, o leitor é remetido para o IGRAC (2008).

As secções seguintes destacam os aspectos mais relevantes categorizados em três etapas: a avaliação preliminar (etapa 1), a concepção de um programa de monitorização (etapas 2 - 7) e a implementação e manutenção (etapas 7 - 8).

Os dados da perfuração são cruciais para a compreensão dos sistemas de águas subterrâneas



Fonte: IGRAC (2008)

Ver Caixa 4.3 para explicação

Figura 4.2 Esquema para a concepção de um programa de monitorização das águas subterrâneas

Caixa 4.3 Descrição das diferentes etapas no desenvolvimento de um programa de monitorização das águas subterrâneas

Etapa 1: Avaliação preliminar da situação das águas subterrâneas, dos problemas e tendências, bem como da dimensão de um programa de monitorização sustentável das águas subterrâneas

Este passo destina-se a ajudar a avaliar se é ou não desejável uma monitorização sistemática das águas subterrâneas numa área e quais devem ser os objectivos e o âmbito do(s) programa(s) de monitorização, tendo em conta as condições orçamentais e organizacionais dadas. As actividades descritas destinam-se a fornecer os componentes para uma "análise rápida" da situação das águas subterrâneas, os problemas reais e uma lista de questões-chave para a monitorização.

Etapa 2: Análise do sistema de águas subterrâneas e desenvolvimento de um modelo conceptual

Esta etapa envolve a análise do sistema de águas subterrâneas (aquíferos e sistemas de fluxo) e o desenvolvimento de um modelo conceptual com base nas informações hidrogeológicas e hidrológicas disponíveis. O modelo conceptual, por sua vez, forma o quadro técnico para a concepção da rede de monitorização das águas subterrâneas. A qualidade das águas subterrâneas é também analisada em relação aos sistemas de fluxo de águas subterrâneas definidos.

Etapa 3: Análise do quadro institucional

Esta etapa diz respeito a um inventário das instituições envolvidas na exploração, gestão e protecção das águas subterrâneas, bem como à análise das suas funções, mandatos, tarefas e orçamentos e recursos humanos relacionados. A avaliação destas condições deverá conduzir a uma melhor ideia do âmbito e das limitações relacionadas com o alargamento ou a melhoria da monitorização das águas subterrâneas.

Etapa 4: Inventário das necessidades de dados e especificação dos objectivos da monitorização

O inventário das necessidades de dados inclui a listagem dos utilizadores de dados sobre águas subterrâneas e a avaliação das suas necessidades de dados. Os objectivos de monitorização podem incluir o fornecimento de dados para avaliação, desenvolvimento, utilização, gestão e protecção dos recursos de águas subterrâneas.

Etapa 5: Concepção de componentes do programa de monitorização das águas subterrâneas para objectivos identificados

Esta etapa diz respeito à análise dos objectivos de monitorização e à sua tradução em componentes do programa de monitorização. Cada objectivo de monitorização conduz a uma componente de monitorização com os seus próprios requisitos específicos (área a cobrir, instalação preferencial da rede, parâmetros necessários, frequência da amostragem, etc.). Ao reunir as componentes num esquema, as várias funções e necessidades do programa de monitorização tornar-se-ão claras. Devido à complexidade das situações, é recomendada uma estrutura modular do programa de monitorização.

Etapa 6: Especificação das opções do programa de monitorização

A viabilidade de um programa de monitorização depende, entre outras coisas, dos orçamentos e da capacidade institucional disponível. É boa prática considerar um número limitado de possíveis opções de programas de monitorização, por exemplo, com um nível de complexidade crescente. As opções podem diferir em relação ao âmbito do programa, à área abrangida ou às propriedades envolvidas (por exemplo, densidade da rede, frequência de observação, etc.). A especificação das opções a considerar deve ser feita em consulta com representantes da instituição responsável pela gestão e monitorização das águas subterrâneas. Os pormenores dos programas considerados devem ser claramente especificados em mapas e/ou tabelas.

Fonte:IGRAC (2008)

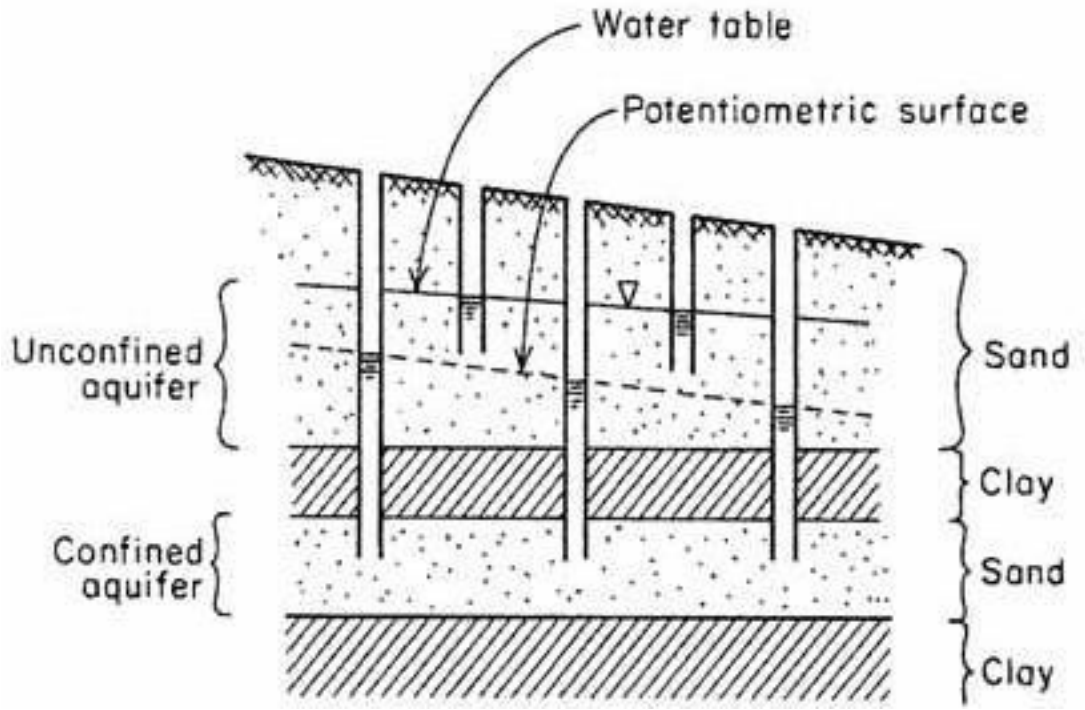
Ver Figura 4.2 para uma visão esquemática

4.3.1 Avaliação Preliminar

Excepto talvez para a monitorização improvisada (Quadro 4.1), é necessária informação mínima sobre o contexto hidrogeológico antes que um programa de monitorização possa ser desenvolvido. A finalidade desta fase de avaliação preliminar é criar uma visão geral de todos os aspectos relevantes que definem a necessidade, os objectivos e as prioridades do programa de monitorização. Esta fase envolve:

- A definição de questões-chave que requerem monitorização;
- Definir uma escala adequada/gerível para a monitorização (a área a ser monitorizada);
- Caracterização geral da área alvo em termos de características climáticas, hidrológicas, topográficas e sócio-económicas relevantes;
- Caracterização hidrogeológica da área; e
- Especificação de questões-chave que podem ser analisadas através de monitorização (IGRAC 2018).

A caracterização hidrogeológica envolve a conceptualização do sistema de águas subterrâneas. É essencial ter alguma ideia do que são as formações de suporte de água (isto é, aquíferos), onde estão localizadas, qual a direcção geral do fluxo nos diferentes aquíferos, incluindo a localização das zonas de recarga e descarga e qual a utilização que está a ser feita das águas subterrâneas. A informação preliminar sobre o contexto hidrogeológico é obtida a partir de dados de localização de furos, perfuração e teste e de conjuntos de dados relacionados, como mapas geológicos, mapas de uso do solo e da terra, dados meteorológicos e topografia (Ver também Capítulo 2). Os aquíferos são corpos tridimensionais e, como tal, uma boa compreensão dos recursos hídricos subterrâneos só é possível se esta componente tridimensional for tida em consideração. Este aspecto muitas vezes não é suficientemente tomado em consideração, resultando em dados de diferentes aquíferos serem tratados como se representassem um aquífero, enquanto que são sistemas bastante distintos (Ver Figura 4.3).



Fonte: Freeze and Cheery (1979)

Figura 4.3 Perfis de nível de água subterrânea em dois aquíferos sobrejacentes

A última etapa da avaliação preliminar é igualmente importante para a caracterização geral e hidrogeológica, mas é frequentemente ignorada pelos hidrogeólogos. A fim de conceber um programa de monitorização que possa ser implementado e sustentado durante longos períodos de tempo, é essencial que desde o início se tenha em consideração o orçamento disponível e a capacidade humana. Isto tem de corresponder aos custos e à capacidade necessária para a concepção e implementação, bem como para a manutenção da rede, recolha de dados, gestão e análise de dados (ver também secção 4.3.3 e Capítulo 9).

4.3.2 Concepção de um Programa de Monitorização

Uma vez definidos os objectivos de monitorização, as necessidades de dados e a escala do programa de monitorização através de uma avaliação preliminar, a concepção do programa de monitorização pode ser iniciada. Isto implica a definição:

- Quais os dados a recolher;
- Em que locais (distribuição 3-D);
- Com que frequência;
- Durante quanto tempo;
- Como organizar isto; e
- Como pagar por isto?

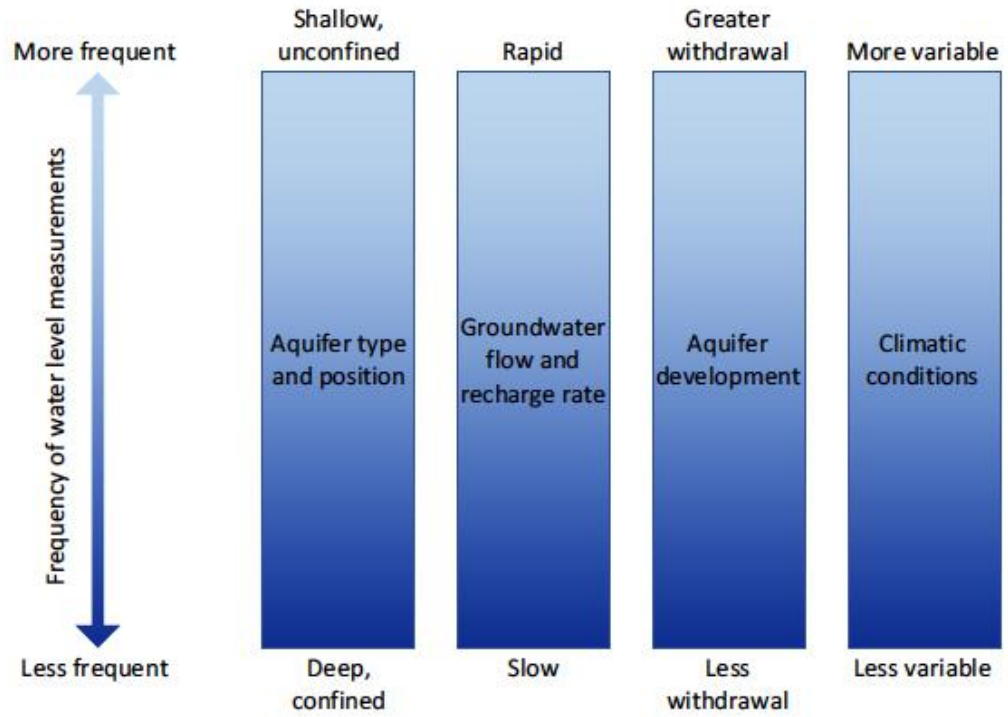
Como explicado na introdução, está para além do âmbito deste Quadro de Referência fornecer detalhes técnicos, orientações ou critérios de concepção abrangentes para redes de monitorização de águas subterrâneas. Existem muitas directrizes e manuais disponíveis (ver também Anexo E) e a escolha final depende dos objectivos de monitorização em combinação com as características da área de monitorização e do orçamento disponível. Como exemplo, a Tabela 4.2 fornece uma indicação das diferentes necessidades de dados para diferentes objectivos de monitorização, enquanto a Figura 4.4 dá uma impressão dos factores a considerar ao determinar a frequência da monitorização dos níveis das águas subterrâneas. Para determinar os requisitos exactos da monitorização da qualidade das águas subterrâneas, são necessários conhecimentos especializados para determinar quais os constituintes a analisar, uma vez que tal depende em grande medida das características químicas do aquífero de acolhimento, dos processos hidroquímicos no aquífero, e do processo ou contaminante esperado a ser monitorizado.

Tabela 4.2 Exemplo de necessidades de dados de diferentes fontes de dados para objectivos específicos

Objectivos de monitorização	Poços de observação de águas subterrâneas			Poços de observação de águas subterrâneas			Nascentes			Águas superficiais pontos de observação		
	Níveis	descarga	qualidade	níveis	descarga	qualidade	níveis	descarga	qualidade	níveis	descarga	qualidade
Desenvolvimento das águas subterrâneas												
Caracterização do sistema GW	xx	n.a.		x			x			x		
GW potencial de desenvolvimento	xx	n.a.	xx		xx	xx		xx	xx		xx	xx
(quantidade e qualidade)	xx		xx			xx			x			(x)
Controlo e protecção												
Tendências de sobre-exploração	xx	n.a.		x	xx			xx			xx	
Conservação da natureza	xx	n.a.			xx		x	xx			xx	
Intrusão de água salina	x	n.a.	xx*		xx	xx*				x	x	(x)
Afundamento do solo	x	n.a.			xx							
Contaminação de aquíferos		n.a.	xx			xx			xx			xx

x = dados desejáveis; xx = dados necessários; xx* = principalmente Cloreto; n.a. = não aplicável.

Fonte: IGRAC (2008)



Fonte: Taylor and Alley (2001) cited in SOGW (2013)

Figura 4.4 Factores a considerar ao determinar a frequência da monitorização do nível das águas subterrâneas

Durante a avaliação das práticas de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas na região (IGRAC, 2019b) verificou-se que em muitos, senão em todos, os Estados Membros o orçamento e a capacidade para as águas subterrâneas é limitada, de tal forma que não é possível confiar apenas em pontos dedicados de observação das águas subterrâneas (ou seja, furos que são construídos especificamente para a monitorização das águas subterrâneas e que não são utilizados para a captação de águas subterrâneas). O orçamento para perfurar e construir poços de observação dedicados é limitado e há vários exemplos de diferentes Estados Membros onde furos originalmente utilizados para a monitorização das águas subterrâneas estão a ser equipados com bombas para fornecer água. Esta situação significa que em muitos casos é necessário recorrer a outros locais para obter dados de monitorização das águas subterrâneas. Estes podem ser furos equipados com motobombas ou bombas manuais, poços cavados à mão ou nascentes.

Em muitos casos, estes locais podem ser utilizados para vários fins de monitorização das águas subterrâneas, desde que as limitações sejam conhecidas, e podem ser necessários procedimentos especiais a observar. Por exemplo, ao utilizar um furo equipado com uma bomba é necessário assegurar que a bomba é desligada e que é concedido tempo suficiente para que o nível das águas subterrâneas recupere para o nível estático da água (assumindo que o furo é utilizado para monitorizar o nível geral das águas subterrâneas na área).

O tempo de recuperação após a bombagem varia em função da taxa de captação e das características do aquífero. Os furos em aquíferos não confinados demorarão mais tempo a recuperar do que os de aquíferos confinados, e a recuperação total faz com que demore muito tempo. Uma boa regra geral é assegurar que a recuperação seja pelo menos 95 por cento do levantamento observado imediatamente após a bombagem.

Outras limitações com furos de produção são que pode não haver ponto de acesso para uma draga de águas subterrâneas ou que a draga pode ficar emaranhado em torno da bomba ou do tubo de elevação. Isto é algo a considerar na concepção e construção de furos de

bombagem para equipá-los com uma tubagem de acesso separada, suficientemente profunda abaixo da profundidade de instalação da bomba, permitindo medições manuais do nível das águas subterrâneas e/ou instalação de um registador de dados.

Na maioria dos casos ainda é possível recolher amostras para análises da qualidade das águas subterrâneas a partir de qualquer tipo de furo, poço de sondagem manual ou fonte, desde que sejam seguidas longas directrizes apropriadas para assegurar a recolha de uma amostra representativa do aquífero. Por exemplo, alguns poços de grande diâmetro, de dureza manual, podem ser abertos e sem selos sanitários. Isto significa que as águas subterrâneas do poço são particularmente vulneráveis à contaminação directa de cima e a composição química da água do poço pode ser afectada pela exposição à atmosfera. Como um poço de dureza manual não pode ser purgado como é prática comum com furos, isto pode afectar a amostra.

Como já foi referido, os aquíferos são sistemas tridimensionais e multicamadas tendem a ter características diferentes, tais como a composição das águas subterrâneas e diferenças na cabeça piezométrica (Ver Figura 4.3). Para efeitos de monitorização, é essencial saber o que se está a medir (por exemplo, de que profundidade se origina a água subterrânea no poço). Se construído correctamente, os poços perfurados especificamente para fins de monitorização das águas subterrâneas só terão telas de poços em camadas aquíferas individuais, e no caso de um sistema de multicamadas as diferentes camadas serão seladas com tampas/embalagens de poços, para que o nível das águas subterrâneas ou uma amostra possa ser retirada de um aquífero específico. Os poços perfurados para captação de águas subterrâneas penetram frequentemente em múltiplas camadas portadoras de água. Isto significa que uma amostra retirada de um tal furo, será uma amostra mista e a medição do nível das águas subterrâneas num tal furo será na sua maioria representativa da camada portadora de água com a cabeça piezométrica mais alta. Este factor limita a utilização de furos de produção para fins de monitorização das águas subterrâneas em camadas aquíferas individuais.

As captações de águas subterrâneas devem também ser monitorizadas. É um parâmetro de entrada importante para os modelos de águas subterrâneas, mas também fornece conhecimentos únicos e cruciais sobre a utilização das águas subterrâneas, incluindo a importância socioeconómica da utilização das águas subterrâneas. A monitorização exacta dos volumes de captação das bombas manuais e dos poços de dureza manual é difícil, mas pode ser estimada. A monitorização dos volumes de captação de poços equipados com motobombas pode ser feita de forma muito fácil e eficaz através da instalação e registo regular de contadores de água. Esta deve ser uma prática comum e precisa de ser encorajada e aplicada em toda a região para se obter uma melhor compreensão da utilização de águas subterrâneas e para fins de controlo de conformidade.

Utilização de registadores de dados

A monitorização das águas subterrâneas pode ser feita manualmente ou com registadores automáticos de dados. Os registadores automáticos de dados podem ser utilizados para medir os níveis das águas subterrâneas, parâmetros de qualidade das águas subterrâneas como Sólidos Dissolvidos Totais, Condutividade Eléctrica, temperatura e pH, bem como abstracção das águas subterrâneas e descarga de nascentes.

As principais vantagens dos registadores automáticos de dados são as seguintes:

- Os dados podem ser recolhidos sem a necessidade de visitar o local de monitorização para cada medição. Isto significa que é possível monitorizar a frequências mais elevadas do que o que pode ser viável na prática, ou orçamentalmente, através de observações manuais. E os dados são recolhidos a intervalos exactos que também podem ter benefícios; e
- Os dados podem ser recolhidos com uma frequência muito alta, que em muitos casos não será necessária para a monitorização das águas subterrâneas, mas é extremamente útil

para testes de bombagem ou para observar a resposta dinâmica das águas subterrâneas ao regime de bombagem, por exemplo, num campo de poços.

Os registadores de dados, contudo, não podem substituir totalmente a necessidade de visitar regularmente os locais de monitorização. As medições têm de ser calibradas com medidas manuais, e isto tem de ser repetido a intervalos regulares (pelo menos uma vez por ano, mas de preferência com maior frequência) para se poder corrigir a deriva do sensor; as medições têm de ser descarregadas para armazenamento nas bases de dados; e para verificar se o equipamento ainda está a funcionar correctamente (vandalismo, falha da bateria). A frequência com que os locais equipados com registadores de dados são visitados depende novamente de muitos factores, mas de preferência é feito pelo menos duas a quatro vezes por ano para evitar falhas de dados, em caso de mau funcionamento do equipamento.

Os registadores de dados automatizados em combinação com telemetria podem ser utilizados para transmitir dados directamente para uma base de dados, sem a necessidade de intervenção humana. Uma grande vantagem da telemetria é obter acesso a dados em tempo real. Isto significa que o mau funcionamento do equipamento pode ser detectado precocemente. Sem telemetria, um mau funcionamento de um registador de dados só pode ser detectado após vários meses, resultando na perda de dados durante o mesmo período de tempo, enquanto que no caso da telemetria é possível resolver o problema imediatamente e evitar a perda de dados. Tal como os registadores de dados normais, os locais ainda não visitados regularmente para substituir baterias e realizar medições manuais para recalibração. No entanto, as visitas aos sítios podem ser menos frequentes, o que pode ser particularmente útil para sítios remotos. Estes sítios necessitam de um acesso a redes de telemetria (por exemplo, GSM - Sistema Global para Comunicações Móveis). Os custos para registadores de dados e dispositivos de telemetria são mais elevados do que os custos para equipamento manual.
Se os investimentos adicionais são justificáveis ou mesmo rentáveis a longo prazo depende de muitos factores, tais como disponibilidade de pessoal, salários do pessoal, afastamento dos locais de monitorização e frequência da monitorização.

4.3.3 Implementação e Manutenção de um Programa de Monitorização a Longo Prazo

Para assegurar que o programa de monitorização é implementado e pode ser mantido durante muito tempo, é essencial avaliar a viabilidade de um programa de monitorização antes de o implementar. A viabilidade implica dois aspectos principais, o orçamento e a capacidade humana:

1. **Orçamento:**

   Os custos de implementação e manutenção não devem exceder o orçamento disponível. O orçamento disponível deve cobrir o investimento inicial para estabelecer a rede de monitorização, mas o orçamento (anual) também deve ser assegurado para cobrir os custos associados à realização da monitorização durante longos períodos de tempo. Os custos que devem ser considerados incluem os relacionados com:

   - **Estabelecimento de pontos de monitorização (despesas incidentais ou não recorrentes)**, por exemplo, perfuração de furos de monitorização, medidas de protecção de furos contra vandalismo, aquisição de registadores de dados e/ou medidores de imersão, bombas de amostragem, etc. Em alguns casos, talvez instrumentos de laboratório, ou mesmo veículos;
   - **Logística (despesas recorrentes)**p. ex., custos de funcionamento de veículos;
   - **Custos de laboratório (despesas recorrentes);** Análise laboratorial;
   - **Consumíveis (despesas recorrentes)** p. ex. garrafas de amostragem, papel de tornesol, baterias para equipamento;
   - **Pessoal (despesas recorrentes)** p. ex. custos de pessoal para a monitorização,

entrada de dados, controlo de qualidade de dados, e condutores.

- **Manutenção (despesas recorrentes);**
  Os custos de manutenção incluem a reparação ou substituição de furos e equipamentos danificados e vandalizados, limpeza de furos; e
- **Custos adicionais (incidentais)**
  Formação do pessoal.

Se o programa de monitorização proposto exceder o orçamento disponível (para investimento inicial e/ou orçamento a longo prazo para custos recorrentes), os custos terão de ser reduzidos. Isto significará normalmente que a rede terá de ser redesenhada com menos pontos de monitorização, observações menos frequentes (no caso de monitorização manual e amostragem de águas subterrâneas), ou no caso de monitorização da qualidade das águas subterrâneas, os parâmetros a monitorizar podem também ser reduzidos. A reformulação da rede pode significar que o objectivo original da monitorização tem de ser reavaliado e possivelmente ajustado a um objectivo menos ambicioso. IGRAC (2008) dá alguns exemplos sobre como dar prioridade aos esforços de monitorização, por exemplo, seguindo uma abordagem baseada no risco e dando prioridade às actividades de monitorização da qualidade das águas subterrâneas sobre as (áreas de) aquíferos mais vulneráveis à poluição (obter informações a partir da cartografia da vulnerabilidade dos aquíferos à poluição), ou reduzindo as ambições, por exemplo, através da monitorização de áreas piloto consideradas representativas de uma região maior, ou baixando a frequência da monitorização.

Determinar se um programa de monitorização pode ser implementado e mantido de forma realista durante longos períodos de tempo é um passo crucial para o sucesso da monitorização.
Há amplos exemplos, também na região da SADC, onde um programa de monitorização foi implementado num projecto com financiamento suficiente para o estabelecimento da rede, mas não houve recursos suficientes para manter o programa de monitorização, resultando na recolha aleatória de dados e, em última análise, em conjuntos de dados de má qualidade.

2. **Capacidade humana:**
   A implementação e manutenção de um programa de monitorização requer pessoal com a formação e competências adequadas, como hidrogeólogos, técnicos de campo, motoristas e técnicos de laboratório. As lacunas na capacidade humana podem, até certo ponto, ser preenchidas através de contratação externa (por exemplo, análise laboratorial, ou mesmo amostragem para análise da qualidade da água), mas é importante investir também no reforço da capacidade do pessoal regular. Mais importante ainda, isto será a formação (regular) de técnicos de campo, para assegurar que estes sejam capazes de recolher dados de alta qualidade. À semelhança do orçamento, é importante avaliar, antes da implementação de um programa de monitorização, se a capacidade necessária está disponível.

Para além do orçamento e da capacidade humana, há outros aspectos organizacionais importantes que poderão ter de ser considerados. Por exemplo, o acesso aos pontos de monitorização deve ser garantido, o que significa que os pontos de monitorização estão, tanto quanto possível, localizados em locais acessíveis e em terrenos públicos. Quando os pontos de monitorização estão localizados em propriedade privada, o direito de acesso a longo prazo tem de ser garantido.

4.4 Avaliação dos Programas de Monitorização Existentes

De tempos a tempos, os programas de monitorização devem ser revistos para verificar se os objectivos de monitorização são cumpridos. Se não for este o caso, o programa de monitorização (ou seja, rede de pontos de observação, frequência de observação, qualidade dos dados recolhidos, etc.) deverá ser revisto e redesenhado / ajustado de modo a atingir os objectivos. Se tal não for possível (por exemplo, por razões orçamentais), o objectivo de monitorização deverá ser revisto.

A avaliação do programa pode também indicar que os objectivos estão a ser atingidos, mas que o programa de monitorização pode ser optimizado (quer abandonando os locais de monitorização, quer reduzindo a frequência da observação). As Tabelas 4.3 e 4.4 fornecem algumas orientações sobre a optimização do número de poços e a frequência de monitorização dos programas de monitorização da qualidade das águas subterrâneas.

Utilização de ferramentas avançadas para investigações sobre águas subterrâneas

Tabela 4.3 Considerações para reter ou remover um poço de uma rede de monitorização da qualidade das águas subterrâneas

Razões para manter um poço na rede de monitorização	Razões para remover um poço da rede de monitorização
É necessário um poço para caracterizar melhor o local ou monitorizar as alterações nas concentrações de contaminantes ao longo do tempo	O poço fornece informação espacialmente redundante com um poço vizinho (por exemplo, os mesmos constituintes, e/ou a curta distância entre poços)
O poço é importante para definir a extensão lateral ou vertical dos contaminantes	O poço está seco há mais de dois anos*
É necessário um poço para monitorizar a qualidade da água num ponto de conformidade ou de exposição do receptor (por exemplo, poço de abastecimento de água)	As concentrações de contaminantes estão consistentemente abaixo dos limites de detecção ou dos objectivos de limpeza do laboratório
O poço é importante para definir a qualidade da água de fundo	O poço é completado na mesma zona de água que o(s) poço(s) próximo(s)

*A monitorização periódica do nível de água deve ser realizada em poços secos para confirmar que o limite superior da zona saturada permanece abaixo do ecrã do poço. Se o poço se molhar novamente, então a sua inclusão no programa de monitorização deve ser avaliada.

Fonte: EPA DOS EUA (2007)

Tabela 4.4 Considerações sobre a alteração da frequência da amostragem das águas subterrâneas

Razões para aumentar a frequência da amostragem	Razões para diminuir a frequência da amostragem
A velocidade das águas subterrâneas é elevada	A velocidade da água subterrânea é baixa
Uma alteração na concentração de contaminantes alteraria significativamente uma decisão ou curso de acção	Uma alteração na concentração de contaminantes não alteraria significativamente uma decisão ou curso de acção
O poço é necessário para monitorizar a área da fonte ou o sistema de remediação operacional	O poço está distal da área da fonte e do sistema correctivo
Não é possível prever se as concentrações irão mudar significativamente ao longo do tempo, ou se a tendência recente de aumento significativo das concentrações de contaminantes num local de monitorização resultará em concentrações que se aproximam ou excedem um objectivo de limpeza, possivelmente indicando a expansão da pluma	Não se espera que as concentrações mudem significativamente ao longo do tempo, ou que os níveis de contaminantes tenham estado abaixo dos objectivos de limpeza das águas subterrâneas durante algum período de tempo prescrito

Fonte: EPA DOS EUA (2007)

4.5 Monitorização das Águas Subterrâneas com Base na Comunidade

A maioria dos dados básicos de monitorização das águas subterrâneas não é muito complicada de recolher, e pode ser feita por não profissionais com equipamento barato, se estiver suficientemente capacitado. O envolvimento de não-profissionais na monitorização das águas subterrâneas tem duas vantagens principais:

- **Reduzir os custos:** Em geral, haverá economias na logística se a população local estiver envolvida em actividades de monitorização, o que pode ser considerável para regiões remotas com acessos rodoviários limitados ou deficientes. As comunidades podem empenhar-se numa base voluntária. Caso contrário, os salários ou compensações permitidos aos não-profissionais serão inferiores aos salários do pessoal regular; e
- **Sensibilização**: Envolver as comunidades na monitorização das águas subterrâneas pode desenvolver um sentido de propriedade e responsabilidade pelos recursos de águas subterrâneas (Tordiffe et al. 2010; Walker etal. 2016). Pode também ajudar a diminuir o vandalismo dos furos de monitorização, uma questão relatada em quase todos os estados membros da SADC. A sensibilização irá provavelmente facilitar a adopção de boas práticas de utilização e protecção das águas subterrâneas. Por esta razão, muitos projectos baseados na comunidade vão além da recolha de dados e também envolvem as comunidades na tomada de decisões e gestão.

A desvantagem pode ser que a qualidade dos dados é menos fiável mas, quando recolhidos em grandes quantidades, fornecem uma visão estatística significativa dos recursos de águas subterrâneas (Walker et al. 2016). Tal como com os técnicos de campo profissionais, uma formação adequada em garantia de qualidade e procedimentos de controlo de qualidade pode ajudar a recolher dados fiáveis.

A recolha de dados sobre águas subterrâneas com base comunitária pode ser facilitada através da utilização de aplicações para telemóveis. Podem tornar divertida a recolha de dados, podem evitar erros no registo e transferência de dados, e podem permitir uma rápida transferência de dados do campo para a base de dados. Uma selecção de aplicações potencialmente úteis é fornecida no Anexo D. Com a expansão das tecnologias de informação e comunicação (TIC) e o crescente acesso à Internet e às redes telefónicas na SADC, o envolvimento das comunidades na recolha de dados sobre águas subterrâneas poderia desbloquear uma grande quantidade de dados em toda a SADC e aumentar a sensibilização da população.

O principal desafio para criar um projecto bem sucedido baseado na comunidade é a identificação dos candidatos certos. Os candidatos devem ter acesso a um ponto de monitorização das águas subterrâneas e a uma rede de comunicação. Kongo et al. (2010) e Ministério da Energia e Águas (2014) recomendam a utilização das estruturas de governação existentes nas comunidades e lidar com os líderes formais ou informais.

Após a análise dos potenciais candidatos, é crucial encontrar incentivos que assegurem um compromisso a longo prazo. Os incentivos podem ser compensações financeiras ou em espécie (por exemplo, telemóveis, bicicletas ou t-shirts, que são úteis para realizar as tarefas do projecto), mas um interesse nos objectivos do projecto é alegadamente o melhor incentivo (SADC, 2011; Roy et al. 2012). As escolas, por exemplo, são reconhecidas como sendo particularmente boas candidatas, porque a monitorização ambiental e a sensibilização para as questões ambientais estão de acordo com os programas de educação (Roy et al. 2012). Do mesmo modo, presume-se que os projectos baseados na comunidade têm maiores probabilidades de sucesso se melhorarem visivelmente as condições de vida das comunidades. Por conseguinte, a recolha de dados sobre águas subterrâneas baseada na comunidade pode ser mais adequada para a monitorização local, e não para a monitorização primária regional (embora as autoridades regionais possam promover vários projectos de monitorização baseados na comunidade local).

Pela mesma razão, pode ser aconselhável combinar a monitorização das águas subterrâneas com a monitorização das águas superficiais, se as comunidades também dependerem das águas superficiais (Kongo et al. 2010). A importância dos incentivos sugere que, ao conceber projectos baseados na comunidade, os departamentos de águas subterrâneas devem identificar como a monitorização das águas subterrâneas pode contribuir para as comunidades, antes de identificar como as comunidades podem contribuir para a monitorização das águas subterrâneas.

Para manter os candidatos entusiasmados e activos durante o projecto, é importante fornecer-lhes feedback sob a forma de dados e informações, ou incluí-los na gestão das águas subterrâneas. Os sítios e aplicações dedicados podem ser utilizados para organizar o intercâmbio de dados e informações e manter uma forte ligação entre os parceiros do projecto. Devem ser organizadas regularmente formações no terreno para capacitar os parceiros antes e durante o projecto (Kongo et al. 2010, SADC 2011).

O investimento no reforço das capacidades e o incentivo aos candidatos aumentará as hipóteses de sucesso dos projectos baseados na comunidade e encorajará a sensibilização para as questões de sustentabilidade relacionadas com as águas subterrâneas.

4.6 Mensagens Principais

- **A monitorização dos níveis, qualidade e abstracção das águas subterrâneas é essencial para compreender as tendências no desenvolvimento dos recursos e para definir intervenções de gestão eficazes; a monitorização regular e consistente da abstracção das águas subterrâneas é limitada na região da SADC, e deve ser melhorada;**
- **Objectivos de monitorização diferentes requerem normalmente redes de monitorização diferentes, mas pontos únicos podem potencialmente servir múltiplas redes;**
- **A monitorização rentável requer as escolhas certas de métodos (manual, registadores de dados), manutenção regular e reavaliação & optimização das redes;**
- **A monitorização nunca pára e requer orçamento e capacidade contínuos;**
- **A monitorização das águas subterrâneas não é apenas um exercício técnico, requer organização e planeamento a vários níveis em todas as organizações, incluindo orçamentos para investimentos incidentais e custos recorrentes para a recolha e manutenção de dados;**
- **A recolha de dados sobre águas subterrâneas com base na comunidade pode ser uma medida rentável, para além da recolha convencional de dados sobre águas subterrâneas, com o benefício adicional de poder desencadear a participação da comunidade na gestão das águas subterrâneas; e**
- **Equipar todos os furos bombeados com um tubo de acesso para medir os níveis de águas subterrâneas, facilita grandemente a recolha de dados sobre águas subterrâneas num país.**

5 GARANTIA E CONTROLO DA QUALIDADE DOS DADOS

5.1 Introdução

A garantia de qualidade (QA) é um conjunto de princípios operacionais, procedimentos e acções que asseguram a recolha de dados fiáveis. O controlo de qualidade (QC) é um conjunto de procedimentos e acções destinados a assegurar que os dados relativos às águas subterrâneas satisfazem os requisitos. A garantia de qualidade visa evitar a ocorrência de erros durante o processo de recolha de dados, enquanto que o controlo de qualidade visa identificar (e sempre que possível corrigir) os erros nos dados recolhidos posteriormente. No contexto dos dados relativos às águas subterrâneas, o princípio da garantia de qualidade refere-se principalmente ao processo de recolha de dados no terreno (e para análise das águas subterrâneas também no laboratório), enquanto que o controlo de qualidade terá lugar principalmente no escritório antes da aceitação dos dados para inclusão final na base de dados.

5.2 Medidas Gerais para Reduzir Erros e Melhorar a Colecta Consistente de Dados

Existem vários livros de referência, directrizes e manuais técnicos disponíveis que fornecem orientações sobre procedimentos para melhorar a recolha de dados e melhorar a qualidade dos dados relativos às águas subterrâneas (para uma selecção ver Tabela 5.1 e Anexo E). Em termos de planeamento e organização, é importante olhar para além dessas directrizes e considerar quais os actores (interessados) que podem influenciar a qualidade dos dados relativos às águas subterrâneas, e que instrumentos estão disponíveis para a recolha de dados fiáveis.

A formação sobre procedimentos de recolha de dados ajuda a melhorar a qualidade dos dados relativos às águas subterrâneas

Esta secção destaca medidas gerais para reduzir os erros de recolha de dados e melhorar a qualidade dos dados. Estas medidas aplicam-se ao longo das diferentes fases da recolha de dados sobre águas subterrâneas e para diferentes fins. Utilizando este quadro como base, os Estados

Membros são encorajados a desenvolver os procedimentos específicos para o controlo e as garantias de qualidade.

Tabela 5.1 Exemplos de orientações sobre a recolha de dados relativos às águas subterrâneas

Fases do trabalho de recolha de dados	Exemplos de directrizes
Furos de sondagem/questionário	• Directrizes para o Desenvolvimento das Águas Subterrâneas na Região da SADC (SADC, 2001)
Perfuração e instalação de furos	• Código de Prática para Furos Com Boa Relação Custo-Benefício (Rede Rural de Abastecimento de Água, 2010); • Manual de Regulação da Protecção das Águas Subterrâneas (Associação da Água da Colúmbia Britânica, 2017) • Perfuração profissional de poços de água (UNICEF e Fundação Skat, 2016) • Curso curto: Supervisão de Perfuração. Furos com boa relação custo-eficácia (Adekile e Danert, 2014)
Teste de furo	• Análise e avaliação de dados de teste de bombagem (Kruseman e de Ridder, 1994) • Directrizes para o desenvolvimento das águas subterrâneas na Região da SADC (SADC, 2001) • Manual sobre Teste de Bombagem, Análise em Aquíferos de Rocha Fraccionados - Rock Aquifers (van Tonder et al. 2001a) • Estimativa dos rendimentos sustentáveis dos furos em formações rochosas fracturadas (carrinha Tonder et al. 2001b)
Níveis das águas subterrâneas	• Medição do nível e profundidade dos poços de água subterrânea: Procedimento Operacional (EPA dos EUA, 2016a)
Amostragem de águas subterrâneas	• Amostragem e Análise de Águas Subterrâneas - Um Guia de Campo (Sundaram et al. 2009) • Directrizes para a amostragem das águas subterrâneas (EPA Austrália, 2000) • Manual de Orientação Técnica para Investigações de Águas Subterrâneas - Capítulo: 10 Amostragem de águas subterrâneas (Agência de Protecção Ambiental de Ohio, 2012) • Guia Rápido de Recolha de Amostras de Água Potável (US EPA, 2016b) • Manual de amostragem de águas subterrâneas (Comissão de Investigação da Água (WRC), 2017)
Captações de águas subterrâneas	• Medição da captação de água (Department of Water- Western Australia, 2016)

Existem diferentes medidas disponíveis para reduzir os erros e melhorar a coerência na recolha de dados. Estas incluem o seguinte:

- **Formação e desenvolvimento de capacidades**

  - Pessoal envolvido na coordenação, supervisão e/ou interpretação: Só se pode distinguir se os dados recolhidos fazem sentido se se compreender o seu significado hidrogeológico. Por conseguinte, é importante que as pessoas encarregadas do controlo de qualidade dos dados e informações tenham formação (académica) suficiente em ciências das águas subterrâneas. Pode ser necessária formação profissional adicional ad-hoc através de cursos curtos e workshops para melhorar as competências e conhecimentos em campos específicos e para acompanhar os novos desenvolvimentos.

  - Técnicos de campo: É importante ter técnicos bem formados e informados envolvidos na recolha de dados sobre águas subterrâneas; tipicamente, os técnicos de campo são formados no local de trabalho. Além disso, para os técnicos é importante proporcionar

cursos de actualização para melhorar as competências e conhecimentos em campos específicos e acompanhar os novos desenvolvimentos. Uma abordagem mais estrutural à capacitação dos técnicos de campo é através da certificação baseada em programas de formação profissional. A formação vocacional para técnicos de águas subterrâneas não está amplamente disponível. O desenvolvimento de tais programas poderia ser levado a cabo a nível regional da SADC.

- Partes externas (perfuradores, consultores, serviços de laboratório): A adesão a padrões profissionais mínimos é da responsabilidade dos próprios profissionais. Os departamentos de águas subterrâneas podem, no entanto, contribuir através da organização de cursos curtos, workshops de formação ou demonstrações para partidos do sector privado, para melhorar as competências e para promover novas tecnologias e métodos. A certificação formal dos profissionais é outro instrumento para melhorar a garantia de qualidade.

- **Directrizes para a recolha de dados**

  - Os profissionais envolvidos na recolha de dados sobre águas subterrâneas devem fazer uso das directrizes e manuais disponíveis. Deve ser da responsabilidade dos departamentos de águas subterrâneas desenvolver, adoptar e implementar directrizes específicas a nível nacional para a recolha de dados relativos aos diferentes tipos de dados sobre águas subterrâneas apresentados neste Quadro. Ver Tabela 5.1 para exemplos.

- **Formulários de recolha de dados/formulários de campo**
  - Desenvolver e/ou adoptar formulários/templates de recolha de dados, a serem utilizados por técnicos de campo para a recolha de diferentes tipos de dados. Exemplos adequados de tais formulários estão amplamente disponíveis, como na SADC (2001): Directrizes para o desenvolvimento das águas subterrâneas na Região da SADC.
  - Estes formulários ajudam a assegurar a recolha sistemática e consistente de dados, independentemente de quem está a recolher os dados e quando.
  - O maior desafio com os formulários / modelos de recolha de dados é implementar o uso sistemático e contínuo destes formulários. Isto deve ser da responsabilidade do pessoal em funções de direcção e supervisão.
- **Utilizar aplicação móvel para o registo de dados no terreno**
  - A utilização de aplicações (aplicações) de telemóveis para gravação/captação de dados no campo pode ser uma adição útil ou mesmo uma alternativa eficiente à utilização de formulários de campo.
  - As aplicações podem ajudar a prevenir erros simples, fazendo uso de verificações lógicas de dados incorporadas e eliminando erros de introdução de dados resultantes de formulários de dados pouco claros, etc.
  - As aplicações podem reduzir custos e tempo através do registo imediato de dados em formato electrónico, encurtando assim o processo de primeiro registo de dados em papel e depois a transferência dos dados para bases de dados electrónicas no escritório numa fase posterior.
  - A poupança de tempo permite também intervenções mais rápidas.
  - São dados exemplos de aplicações de telemóveis em (*Ver* Anexo D).
- **Calibração, teste e utilização de equipamento**
  - O equipamento tem de ser sempre calibrado e utilizado de acordo com as especificações e directrizes do fabricante.
  - O equipamento precisa de ser verificado periodicamente, de acordo com as especificações e directrizes do fabricante.
- **Técnicas de recolha automatizada de dados**
  - Embora as técnicas de recolha automática de dados, tais como a utilização de registadores automáticos de nível freático com registadores de dados, ofereçam muitas

vantagens, é importante obter algumas medições de referência manuais no caso de a tecnologia falhar.

- Em alguns casos, os dispositivos de recolha automática de dados têm uma precisão de medição inferior à dos dispositivos manuais. Por exemplo, a precisão dos registadores de nível de água tende a ser um pecentagem de toda a gama de medições. Isto significa que um registador com um alcance de 100 m de variação do nível de água subterrânea pode ter uma precisão de +/- 5 cm, enquanto que uma medição manual cuidadosamente feita de um nível de água subterrânea com uma sonda pode atingir uma precisão de +/- 0.5 mm. Dependendo da situação, pode ser preferível uma medição manual, enquanto que noutras situações pode ser preferível a utilização de registadores de dados (por exemplo, num teste de bombagem quando muitas medições consecutivas devem ser feitas em intervalos curtos).

- **Definir qualidade de dados alvo/aceitável e medidas correctivas**

- Embora isto não seja prática comum em hidrogeologia, a qualidade de dados aceite deve ser definida previamente como parte dos objectivos de qualidade dos dados, em conformidade com o objectivo de recolha dos dados. Uma vez recolhidos os dados, a sua qualidade deve ser avaliada em relação a estas normas. Por exemplo, o intervalo de Erro de Equilíbrio de Iões (IBE) que será aceitável para a monitorização da qualidade das águas subterrâneas deve ser definido aquando do desenvolvimento de um programa de amostragem. Embora existam directrizes na literatura, é importante para os envolvidos na recolha de dados definir qual a qualidade que seria aceitável.

A Tabela 5.2 enumera os diferentes actores envolvidos em diferentes processos relacionados com a recolha de dados sobre águas subterrâneas, as responsabilidades que estes actores têm em relação ao controlo e garantia da qualidade, e as medidas disponíveis para os ajudar na execução destas tarefas. O pessoal especializado e com formação académica (em quadro classificado como "supervisores") tem um papel central na gestão de todos os processos de controlo e garantia de qualidade e na capacitação dos outros actores envolvidos.

Tabela 5.2 Papéis dos actores envolvidos nos processos de recolha de dados sobre águas subterrâneas

	Instalação de furo			**Monitorização**		
	Siting	**Perfuração**	**Testes**	**Níveis**	**Qualidade**	**Abstracção**
Técnicos de campo	• Utilização de formulários de campo; • Utilização de aplicações para telemóveis; • Formação no local de trabalho; • Formação vocacional.					
Perfuradores		• Utilização de formulários de campo; • Utilização de aplicações para telemóveis; • Inscrição; • Certificação.				
Supervisores*	• Formação académica; • Formação profissional específica, conforme necessário; • Desenvolver e implementar a utilização de formulários de campo + procedimentos; • Iniciar o desenvolvimento / implementação de aplicações para telemóveis; • Realizar formação no local de trabalho; • Fornecer supervisão regular "no local"; • Verificar e assinar os dados recolhidos; • Desenvolver verificações de rotina para aplicação antes da aceitação de dados em bases de dados; • Assegurar a inclusão de procedimentos de GQ/CQ relevantes nos mecanismos de concurso					

Pessoal de escritório	• Realizar verificações da qualidade dos dados utilizando listas de verificação e ferramentas simples (visualizações) antes de aceitar dados para inclusão nas bases de dados finais**					
Pessoal de laboratório					• Rotinas padrão; • Controlos básicos dos resultados (por exemplo, erro de equilíbrio iónico); • Certificação.	
Utilizadores de dados	• A análise e a interpretação são a melhor verificação da qualidade dos dados. Devem existir procedimentos para que os utilizadores forneçam feedback ao gestor da base de dados para assinalar os dados como "suspeitos".					

* Supervisor: Geofísico/Geólogo/Hidrogeólogo. Este pode ser tanto pessoal de escritório numa função de coordenação como de supervisão das actividades de campo.

** O ideal é que a base de dados seja criada de tal forma que os dados sejam introduzidos na base de dados e que haja uma funcionalidade para rotular os dados como "temporários/não verificados" e após a realização de verificações de qualidade como "finais/verificados/aprovados"

As medidas importantes de garantia de qualidade para a medição do nível das águas subterrâneas são sublinhadas na Caixa 5.1, porque é o parâmetro mais básico medido nas águas subterrâneas.

5.3 Controlo de Qualidade e Garantias de Qualidade do Escritório

Os dados recolhidos no terreno devem ser introduzidos numa base de dados, e as rotas seguidas são:

1. O técnico de campo introduz os dados de campo num dispositivo electrónico no campo (aplicações móveis). A aplicação irá carregar os dados directamente na base de dados - eliminando a possibilidade de erros de digitação;
2. O técnico de campo introduz os dados em formulários de campo e uma vez no escritório transfere os dados para a base de dados. Os dados precisam de ser novamente digitados, mas pela mesma pessoa que os introduziu no formulário de campo; e
3. O técnico de campo introduz os dados nos formulários de campo e entrega o formulário a uma pessoa dedicada à introdução de dados no escritório. Os dados devem ser digitados por uma pessoa diferente, aumentando a possibilidade de cometer erros (dificuldades em compreender a escrita à mão, nem conhecimento da situação no terreno, etc).

Quando os dados são introduzidos na base de dados, os dados devem ser verificados quanto a erros lógicos. Exemplos são o nível de água medido que é mais profundo do que o furo real, ou os valores de pH introduzidos são superiores a 14. Outros erros potenciais são grandes diferenças nos valores medidos em comparação com os valores ou tendências dos dados já existentes na base de dados (filtragem estatística ou visual em valores aberrantes). A verificação final da validade dos dados medidos é a utilização dos dados durante a análise e interpretação. Isto só pode ser efectuado depois de os dados serem introduzidos na base de dados. A base de dados deve, portanto, ter a capacidade de assinalar os registos individuais como suspeito.

Caixa 5.1 Garantias básicas de qualidade para medições do nível das águas subterrâneas

Algumas das medidas de rotina importantes de garantia de qualidade durante as medições do nível das águas subterrâneas são:

- Medir sempre os níveis das águas subterrâneas em relação ao ponto de referência estabelecido/acordado. O ponto de referência de medição deve também ser capturado no formulário de campo e na base de dados.
- Deve ser tomado especial cuidado para permitir que o nível da água se equilibre após a remoção das tampas de selagem dos furos. O tempo necessário para o equilíbrio dependerá das características hidrogeológicas específicas do local, pelo que não é possível estabelecer qualquer linha de orientação. Contudo, a realização de várias leituras repetidas e a sua comparação pode dar uma indicação.
- Quando possível num local/furo, deve ser utilizado o mesmo modelo de instrumento de medição do nível de água para todas as medições.
- As alterações do nível das águas subterrâneas observadas através da monitorização devem ser cuidadosamente avaliadas para determinar a causa, porque pode haver uma variedade de causas. Deve haver alguma causa explicável de quaisquer alterações nos níveis das águas subterrâneas, caso contrário pode ser considerado como erro de medição.
- Para ajudar a compreender o significado dos níveis das águas subterrâneas medidos, deverá estar disponível/acessível informação sobre a construção de furos, tipos de aquíferos e greves de água.
- Descontaminar o dispositivo de medição do nível da água antes de passar para o próximo furo. Para locais não conhecidos ou suspeitos de estarem contaminados, basta lavar os dispositivos com água desionizada ou com fita adesiva. Para locais contaminados e poluídos, podem ser necessários procedimentos específicos de descontaminação, e devem ser feitos preparativos antes da visita de campo.
- Calibrar, testar e utilizar registadores de dados de acordo com as instruções e especificações do fabricante.
- Quando os registadores de dados de nível de água são utilizados para monitorização contínua das águas subterrâneas, é importante fazer leituras manuais de nível de referência a intervalos definidos durante a sua utilização. Isto serve de base/data para avaliar as alterações medidas e corrigir qualquer deriva nos sensores dos registadores de dados.

Os dados suspeitos podem ter origem em erros de introdução de dados, erros de transferência de dados ou problemas no campo quando as medições foram efectuadas. Quando os dados são assinalados como suspeitos, o processo sobre como os dados foram obtidos deve ser rastreado e rectificado conforme necessário, se possível. Se todos os procedimentos correctos foram seguidos e não foram encontradas discrepâncias, os dados devem ser assinalados como "aprovados" ou "finais" na base de dados.

Para implementar esta forma de controlo de qualidade dos dados sobre águas subterrâneas, é necessário que os membros do pessoal de coordenação e supervisão de posições desenvolvam e implementem tais verificações, incluindo a adição desta funcionalidade às bases de dados sobre águas subterrâneas.

A Figura 5.1 fornece um fluxograma que representa o fluxo de dados desde a recolha no campo até ao armazenamento final da base de dados, com vários processos de controlo e garantia de qualidade.

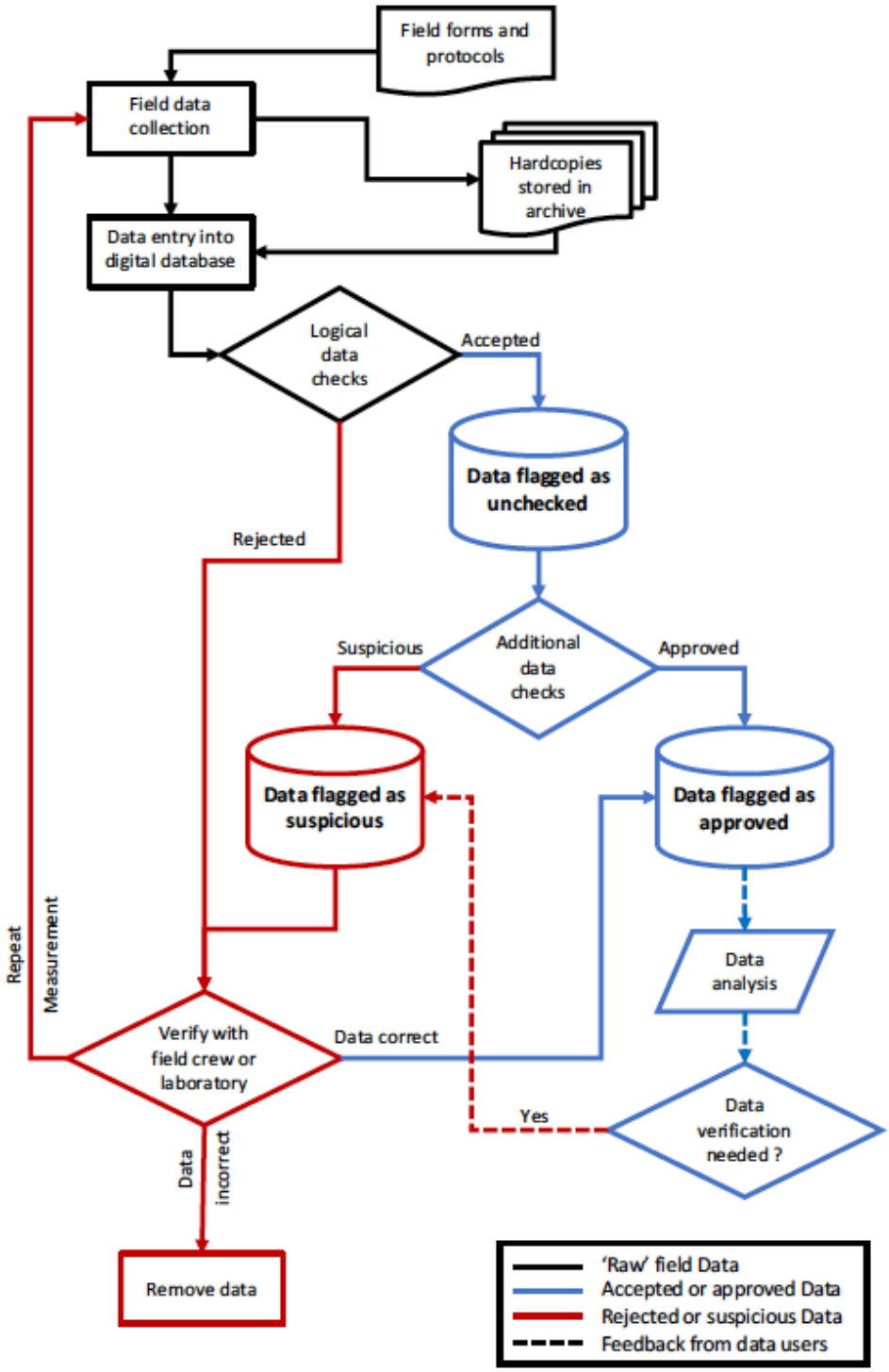


Figura 5.1 Fluxograma dos controlos de qualidade no processo de gestão de dados

5.4 Mensagens Principais

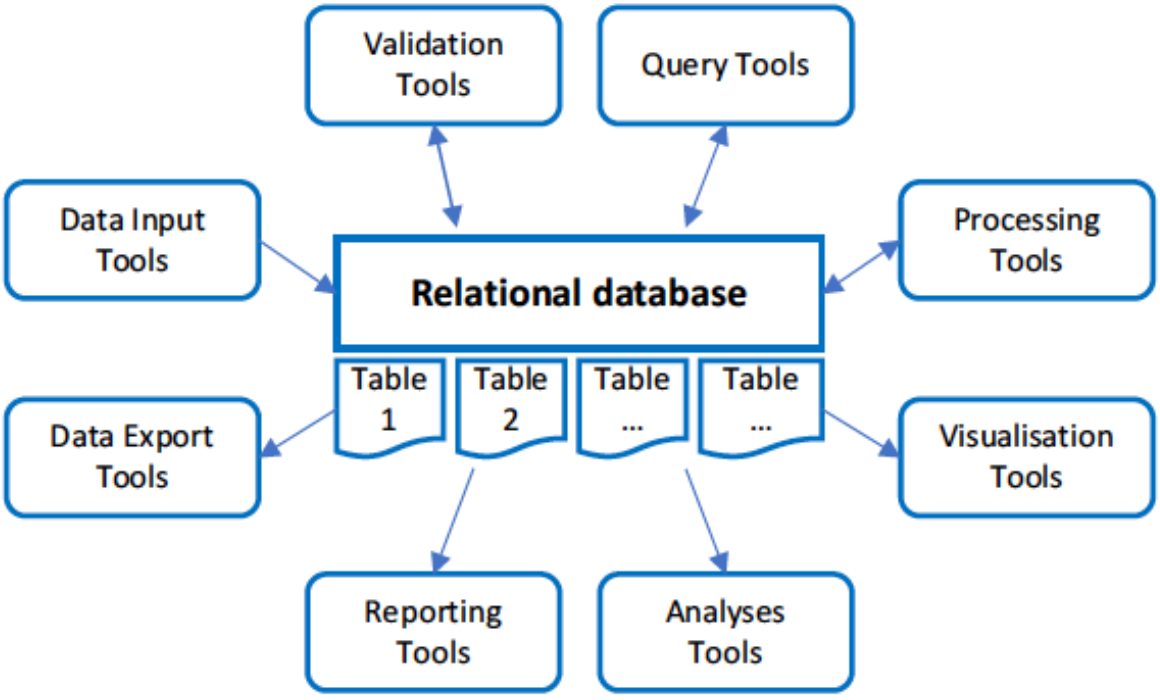
- **A certificação de profissionais envolvidos na recolha de dados sobre águas subterrâneas (tais como perfuradores, consultores hidrogeológicos e geofísicos, serviços laboratoriais) ajudará a melhorar a qualidade dos dados recolhidos sobre águas subterrâneas;**
- **O desenvolvimento de programas de formação profissional para técnicos de águas subterrâneas (ou mais amplamente técnicos de monitorização ambiental) é fundamental para melhorar a qualidade e eficiência da recolha de dados sobre águas subterrâneas;**
- **A recolha de dados de boa qualidade no terreno é auxiliada pela adesão a directrizes e formação suficiente de técnicos de campo;**
- **A utilização de tecnologias modernas tais como formulários digitais de campo em aplicações de telemóveis pode tornar o processo de recolha de dados de águas subterrâneas mais eficiente e pode reduzir os erros;**
- **A utilização de dispositivos automatizados de recolha de dados, tais como registadores de dados, pode melhorar a eficiência mas não resulta necessariamente em dados mais precisos;**
- **Antes de os dados serem armazenados como dados finais em bases de dados, devem ser feitas verificações de rotina para verificar a qualidade dos dados.**

6 ARMAZENAMENTO DE DADOS

6.1 Introdução

Todos os dados essenciais sobre águas subterrâneas que são recolhidos (ver capítulos 3 e 4) devem ser armazenados num local central para construir um registo histórico e permitir que os dados sejam utilizados numa fase posterior (por exemplo, para análise de tendências). Os dados podem ser armazenados em cópia impressa numa sala de arquivo ou arquivo. Nesta "era digital" as cópias em papel dos dados devem também ser guardadas num computador ou servidor central. As cópias impressas podem ser digitalizadas e armazenadas para substituir a sala de arquivo. Mas, para processamento e análise, os dados de campo devem ser introduzidos num sistema informático em formatos que possam ser processados e numa estrutura lógica. O acrónimo FAIR capta a necessidade de os dados serem Localizáveis, Acessíveis, Interoperáveis e Reutilizáveis (Wilkinson et al. 2016). Isto requer a utilização de uma base de dados.

Existem diferentes tipos de bases de dados e estas variam desde simples folhas de cálculo até programas elaborados em ambiente de trabalho e bases de dados baseadas em servidor. A Figura 6.1 mostra um sistema típico de gestão de dados de águas subterrâneas. Numa configuração básica, diferentes ferramentas podem consistir em diferentes pacotes de software com funcionalidades de importação e exportação que permitem a interoperabilidade. Numa configuração avançada, todas as ferramentas essenciais serão integradas numa interface de utilizador (um pacote de software), embora mesmo as soluções mais avançadas ainda necessitem de ferramentas adicionais para fins específicos (por exemplo, análise através da modelação do fluxo de águas subterrâneas).



Fonte: Fitch et.al. (2016)

Figura 6.1 Modelo conceitual do sistema de gestão de dados das águas subterrâneas

O requisito mais básico para qualquer software de base de dados é a funcionalidade para:

- Introduzir novos dados (ferramenta de introdução de dados);
- Armazenar múltiplos tipos de dados de uma forma estruturada (dados armazenados em tabelas ligadas); e
- Exportar dados em formatos mais amplamente compatíveis (ferramentas de exportação de dados).

Os sistemas de bases de dados (seja um pacote de software integrado ou uma combinação de diferentes ferramentas de software) utilizados para armazenar dados sobre águas subterrâneas a nível nacional exigirão também funcionalidade para garantir a segurança dos dados (por exemplo, ferramentas de back-up), e verificar a qualidade dos dados (ferramentas de validação).

A medida que o número de pessoas que utilizam a base de dados se expande e a quantidade de dados aumenta, há necessidade de funcionalidades adicionais que permitam opções multi-utilizador, com diferentes autorizações de utilizador facilitando um controlo mais avançado da qualidade dos dados, segurança dos dados, consultas, e ferramentas de relatório.

Neste capítulo são discutidos os conceitos mais relevantes da base de dados, seguidos de uma discussão sobre as vantagens e limitações das três categorias de soluções de software.

6.2 Conceitos de Base de Dados e Funcionalidades Importantes

6.2.1 Estrutura dos Dados

Uma estrutura lógica de uma base de dados é crucial para que diferentes utilizadores possam trabalhar com a base de dados e para assegurar a consistência dos dados. Uma base de dados é uma colecção de tabelas que armazenam diferentes tipos de informação. O quadro central será o que define o nome dos pontos de monitorização (nome / número de identificação do local) juntamente com uma posição (coordenadas) e parâmetros descritivos básicos adicionais (Ver Caixa 6.1). Outras tabelas são utilizadas para armazenar tipos específicos de dados, tais como dados de temposérie de níveis de água, qualidade da água e captação de água, e outros dados tais como registos litológicos de furos, dados de construção de furos, geofísica de furos, dados de teste de bombagem, e juntamente com etiquetas de controlo de qualidade.

As tabelas são ligadas através de campos específicos (identificadores). Numa configuração simples mas robusta, as tabelas são ligadas utilizando o identificador do local (por exemplo, número do furo, ou SiteName na Figura 6.2) que precisa de ser introduzido para cada conjunto/tabela de dados.

A duplicação de dados em tabelas diferentes deve ser evitada, uma vez que isto representa um risco em termos de consistência de dados. Por exemplo, as coordenadas de furos de maior precisão e elevação obtidas a partir de levantamentos topográficos destinam-se a substituir as obtidas a partir de um simples GPS manual, mas só são actualizadas numa tabela, e os dados duplicados menos precisos em outras tabelas são esquecidos para serem actualizados. Isto levará a confusão. Apenas os identificadores utilizados para ligar tabelas devem ser duplicados *(Ver* Figura 6.3).

6.2.2 Interface do Utilizador

A interface do utilizador é a parte do software com a qual o utilizador interage directamente. As interfaces de utilizador são concebidas para simplificar a utilização de diferentes ferramentas *(Ver* Figura 6.2) através de menus e botões. A vantagem é que os utilizadores não precisam de conhecer os comandos subjacentes da base de dados de baixo nível ou a codificação das rotinas, e é também possível proteger os utilizadores não autorizados da utilização de certas funcionalidades que poderiam danificar a base de dados. O desenvolvimento de uma interface de utilizador adequada requer uma compreensão profunda do fluxo de trabalho relacionado com os dados (ver por exemplo a Figura 5.1 sobre fluxograma para verificações de qualidade), os diferentes utilizadores, as suas necessidades e a sua capacidade técnica em termos de utilização do software.

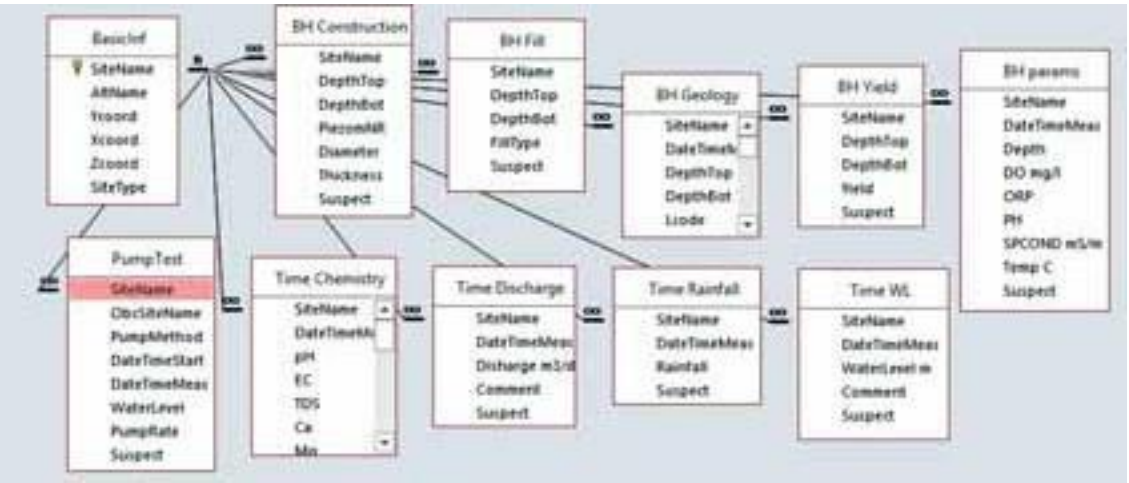


Figura 6.2 Exemplo de estrutura de base de dados no MS Access com relações entre diferentes tabelas de uma base de dados de águas subterrâneas.

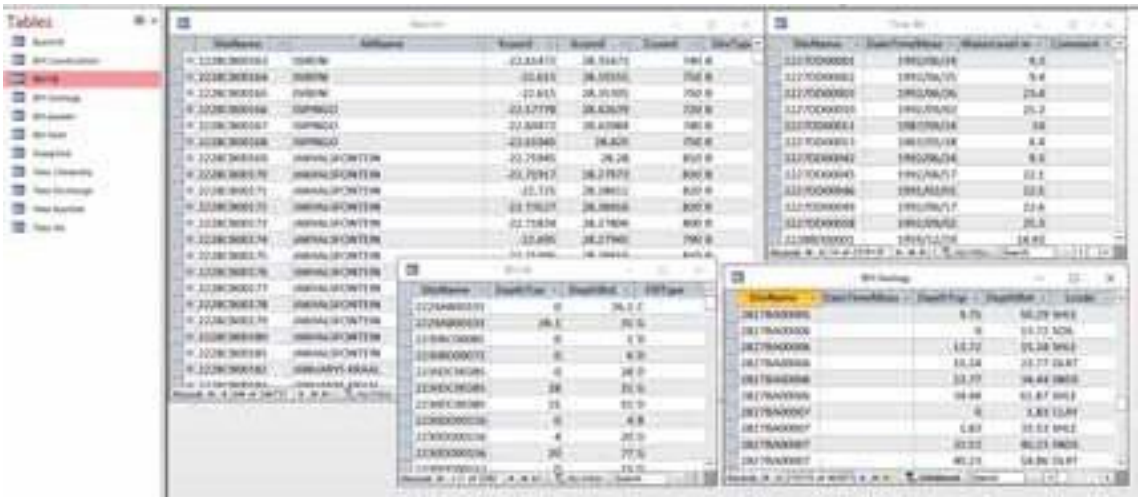


Figura 6.3 Exemplo de uma base de dados no MS Access, mostrando diferentes tabelas com alguns dos dados. As tabelas estão ligadas através do identificador 'SiteName'.

6.2.3 Opções Multi-utilizador

Um único ambiente de utilizador pode ser suficiente numa configuração para um grupo relativamente pequeno de profissionais envolvidos na gestão de dados, todos eles baseados num único escritório e com uma quantidade limitada de dados. Bases de dados nacionais abrangentes sobre águas subterrâneas, com parâmetros diferentes, terão geralmente um grupo de utilizadores maior, com múltiplos utilizadores a introduzir dados no sistema, enquanto outros utilizadores, possivelmente de outros locais (por exemplo, escritórios regionais, ou para-estatais com acesso directo a bases de dados) podem interrogar e extrair dados da base de dados ao mesmo tempo. Esta configuração requer opções de múltiplos utilizadores com diferentes autorizações de utilizador e níveis de acesso.

Caixa 6.1 Requisitos mínimos para estabelecer adequadamente um sítio (furo) na base de dados

Localização dos furos e 'dados administrativos':

Para estabelecer correctamente um sítio (furo) numa base de dados, cada sítio requer os seguintes dados essenciais:

- Nome/identificador do furo: Este deve ser um identificador único baseado numa convenção nacional de nomenclatura/numeração de furos. Na prática, é muito útil se a base de dados permitir numerações adicionais alteradas; por exemplo, as utilizadas em projectos, a nível regional ou a partir da fase de furos de sondagem.
- Coordenadas: X e Y (ou longitude e latitude) são cruciais, mas nas águas subterrâneas também é importante a elevação (valor Z) da superfície do solo e ponto de referência para medições do nível das águas subterrâneas (geralmente no topo do invólucro).

  Diferentes sistemas de coordenadas projectadas estão a ser utilizados em toda a região e por vezes também dentro dos países. Por exemplo, a África do Sul utiliza uma projecção de Mercator Transversal (TM) para mapas 1:50 000, enquanto uma projecção de Albers Equal Area é utilizada para mapas de pequena escala 1:250 000, ambos com o datum de Hartebeeshoek (WGS84). A Namíbia também usa a projecção TM mas com o datum Schwarzeck, enquanto que o Botswana usa o UTM com o datum da zona 35S. Se a projecção e o datum não forem conhecidos, podem surgir inconsistências substanciais. Por exemplo: uma mudança de datum de Cape Datum (utilizado oficialmente na África do Sul antes de 1992) para Hartebeeshoek datum (utilizado depois de 1992) sem conversão adequada resultou em mudanças de coordenadas de mais de 400 metros em locais. Por conseguinte, é crucial registar a projecção e o datum na base de dados.Idealmente, o método utilizado para estabelecer a coordenada (Mapa com escala e ano de publicação, GPS de mão, GPS diferencial, tradicionalmente pesquisado) com uma indicação da precisão das coordenadas é também registado.

Qualquer outra informação que descreva o ponto de monitorização e o seu entorno.

- Tipo: o tipo de ponto de monitorização deve ser registado (Borehole, poço cavado à mão, nascente, rio, barragem, etc.)
- Estado do sítio: Estado do ponto de monitorização (Em uso, Abandonado, Destruído, Desconhecido)
- Objectivo: Principal objectivo do ponto de acesso à água (Monitorização, Abastecimento de água potável, Rega, Rega de stocks, Utilização industrial, etc.)
- Proprietário: As informações relativas ao proprietário do site (Nome do Proprietário; Contactos) são importantes, por exemplo, para pedir autorização de acesso para monitorização, ou para solicitar informações relacionadas com as condições de licenciamento.
- Cenário Topográfico: observações relevantes sobre águas subterrâneas, tais como panela aluvial, leito de rio seco, encosta.

6.2.4 Controlo de Qualidade e Segurança de Dados

A recolha de dados sobre águas subterrâneas é dispendiosa e por vezes impossível de repetir (por exemplo, registos históricos do nível das águas subterrâneas ou registos litológicos da perfuração). Por conseguinte, é crucial que os dados recolhidos sejam verificados quanto à qualidade e protegidos contra perdas ou alterações por parte dos utilizadores.

Controlo de qualidade

Ao longo do processo de recolha de dados são necessárias diferentes etapas de garantia e controlo da qualidade, algumas das quais podem ser integradas na solução da base de dados (ver Figura 5.1). Uma das etapas é a validação dos dados utilizando verificações lógicas. Por exemplo, para recusar valores negativos no campo de profundidade do furo, níveis de águas subterrâneas acima do topo do invólucro ou valores de pH fora da gama 0 - 14. Outras funcionalidades podem permitir a marcação de dados não controlados, suspeitos e verificados ou mesmo registar uma pista de auditoria completa (*Ver* abaixo).

Funções do utilizador

Para evitar erros, uma base de dados só deve ser operada por pessoal autorizado (e com formação adequada). Os diferentes utilizadores de bases de dados tendem a ter funções e responsabilidades diferentes: por exemplo, introdução de dados, controlo de qualidade, gestão/administrador de bases de dados, utilizadores de dados. Idealmente, podem ser atribuídas diferentes autorizações (níveis de acesso) a estes diferentes utilizadores.

Cópias de segurança

Todas as bases de dados devem ser apoiadas regularmente para reduzir os riscos de perda de dados em caso de uma calamidade como falha do disco rígido, incêndio ou inundação. Para grandes bases de dados que são utilizadas intensivamente, as cópias de segurança devem ser feitas diariamente, enquanto que para bases de dados mais pequenas e menos utilizadas intensivamente pode ser feita uma cópia de segurança após a introdução de novos dados (embora o risco com as cópias de segurança ad-hoc seja que tendem a ser esquecidas). As cópias de segurança devem ser armazenadas fora do local (num outro local), ou pelo menos num computador diferente. Através da simples cópia do ficheiro principal, apenas a última versão do ficheiro pode ser restaurada. Se a restauração de versões diferentes for um requisito, deve ser instalado software capaz de fazer cópias de segurança e restaurações incrementais.

Pista de auditoria, compromisso e rollback

Para permitir um procedimento de controlo de qualidade dos dados dentro de uma base de dados, é útil que se possa manter uma "pista de auditoria" de operações cruciais da base de dados. Isto significa que se algum valor for alterado, é armazenada uma cópia do valor original, bem como a data, hora e o utilizador que o alterou. Tal registo é útil para verificar procedimentos, rastrear e corrigir possíveis erros. As transacções da base de dados tais como "comprometer", e "roll-back" (geralmente geridas através da interface do utilizador) são úteis para proteger a base de dados de erros e para facilitar os procedimentos de controlo de qualidade dos dados. As alterações feitas a uma base de dados através da adição, alteração ou eliminação de dados só se tornarão permanentes depois de uma 'transacção de compromisso' ter sido emitida e quando algo imprevisto acontece, todas as alterações podem ser revertidas através da emissão de um 'rollback'.

6.3 Opção de Base de Dados em Folha de Cálculo

Software de folha de cálculo como o Microsoft Excel, Google Docs Spreadsheets, Apache OpenOffice Calc, Libre Office Calc, pode ser utilizado para criar uma base de dados simples para armazenar dados de águas subterrâneas. Para além de ser uma opção de baixo custo ou gratuita, é também uma opção fácil uma vez que a maioria dos profissionais de águas subterrâneas sabem como trabalhar com folhas de cálculo.

Estrutura de dados: Os programas de folhas de cálculo permitem a utilização de múltiplas folhas de cálculo num único ficheiro. As diferentes folhas de cálculo podem armazenar dados relacionados com um parâmetro específico, imitando assim as tabelas de uma base de dados. Diferentes colunas de folhas de cálculo actuarão como os diferentes campos de cada tabela, enquanto as linhas actuarão como os registos. A vantagem é que a estrutura de dados pode ser configurada por qualquer pessoa com conhecimentos básicos de excelência e compreensão básica de bases de dados relacionais.

Interface do utilizador: Como a maioria dos profissionais de águas subterrâneas são capazes de utilizar software de folha de cálculo, não será necessário configurar uma interface de utilizador

"em cima" de uma base de dados de folha de cálculo. No entanto, é possível desenvolver, por exemplo, formulários de introdução de dados, modelos de relatórios e macros para certas rotinas.

Controlo de qualidade e segurança de dados: As folhas de cálculo também permitem a validação de dados básicos ao introduzir novos dados. As folhas de cálculo também podem ser utilizadas para criar gráficos (por exemplo, para verificações visuais de qualidade) e realizar avaliações computacionais, estatísticas e lógicas mais avançadas (para verificações de qualidade de dados e/ou para análise de dados).

6.3.1 Limitações das Bases de Dados Baseadas em Folhas de Cálculo

- **Não concebido como uma base de dados:** O software de folha de cálculo não foi especificamente desenvolvido para ser utilizado como uma base de dados relacional. O foco é muito mais na realização de cálculos em múltiplos dados e na visualização de dados, por exemplo em gráficos. Isto significa que não é a solução de base de dados mais robusta, em particular se o número de utilizadores aumentar e a necessidade de ferramentas de dados integradas aumentar. Por exemplo, é muito fácil mover dados em torno de uma folha de cálculo, e existe o risco de os utilizadores alterarem a estrutura de dados de acordo com as suas próprias necessidades específicas (a curto prazo), corrompendo assim a estrutura da base de dados. Muitos utilizadores tipicamente 'espremem' todos os dados de um furo numa folha de trabalho, imitando assim um relatório com dados diferentes para um sítio (furo), em vez de imitarem uma base de dados relacional onde os dados são agrupados por categoria. Se a estrutura da base de dados relacional não for mantida, os dados acabam por ser copiados para vários locais, o que torna mais difícil (ou quase impossível) gerir a base de dados e manter a integridade dos dados. Além disso, os utilizadores podem facilmente utilizar uma folha de trabalho extra para alguns dados ou processamento "temporário rápido", resultando em última análise em folhas de cálculo confusas e ninguém mais sabendo onde se encontram os dados originais em bruto do campo.
- **Capacidade limitada:** A quantidade de dados que pode ser armazenada numa folha de cálculo é limitada, embora para os países com conjuntos de dados mais pequenos isto possa, na prática, não ser o factor limitativo. Dependendo da complexidade da base de dados, uma folha de cálculo pode tornar-se lenta no processamento de dados quando a quantidade de dados aumenta.
- **Ferramentas limitadas:** É possível programar ferramentas simples tais como formulários de introdução de dados e gerar relatórios a partir de folhas de cálculo, mas na prática a funcionalidade do utilizador de uma base de dados de folhas de cálculo é limitada em comparação com as bases de dados avançadas.
- **Utilizador único:** Uma folha de cálculo é uma opção de utilizador único, uma vez que apenas um utilizador pode editar a folha de cálculo em qualquer momento. Vários utilizadores podem trabalhar em múltiplas cópias da base de dados ao mesmo tempo, mas quando todos os utilizadores começam a fazer alterações torna-se muito difícil e demorado incorporar as alterações numa única base de dados (principal). Utilizar uma folha de cálculo em combinação com um serviço de nuvem como MS One-drive, Google Drive e Dropbox, significa que os ficheiros de dados podem ser editados directamente na nuvem eliminando o risco de perda de dados por hardware defeituoso ou roubo de hardware, ao mesmo tempo que permite também alguma forma básica de acesso multi-utilizador.
- **Cópia de segurança básica:** As folhas de cálculo têm apenas a funcionalidade de cópia de segurança automatizada mais básica, guardando apenas a versão anterior mais

recente do ficheiro. Para uma cópia de segurança automatizada mais avançada da base de dados serão necessárias ferramentas de software adicionais, ou as cópias de segurança têm de ser feitas manualmente. As cópias de segurança manuais são muito pouco fiáveis, uma vez que são facilmente esquecidas. Ao trabalhar com bases de dados de ficheiro único, uma cópia de segurança pode ser efectuada apenas copiando o ficheiro para outro computador ou disco rígido externo ou para um serviço de nuvem. É possível utilizar serviços gratuitos de nuvem, desde que os conjuntos de dados não sejam demasiado grandes, mas isto não é preferível, pois estes serviços gratuitos podem ser cancelados em qualquer altura.

6.4 Base de dados relacional - Opção de Desktop

Estrutura da base de dados: As principais vantagens dos pacotes de bases de dados dedicadas são que têm a capacidade padrão de ligar registos de dados, o que permite mais funcionalidade e flexibilidade quando se trata de realizar consultas e gerar relatórios. A base de dados relacional precisa de ser configurada antes de poder ser utilizada (ao contrário de uma folha de cálculo onde se pode modificar a estrutura em qualquer altura). É necessário definir tabelas diferentes, assim como cada campo (coluna) na tabela e a relação entre as diferentes tabelas. Todos os campos devem ser pré-definidos por tipo de dados (Texto, Número, Data, etc.).

Interface do utilizador: A vantagem desta configuração é que é mais robusta (a estrutura da base de dados não pode ser corrompida por um utilizador padrão) e são possíveis regras de validação mais avançadas. A funcionalidade de pesquisa e consulta de dados será mais avançada e mais fácil de utilizar do que com as folhas de cálculo. As bases de dados relacionais também têm a capacidade de criar ficheiros de índice. Estes ficheiros de índice permitem pesquisas e consultas rápidas, o que é particularmente relevante para grandes conjuntos de dados.

Opções de múltiplos utilizadores: As opções de ambiente de trabalho são capazes de acesso multi-utilizador (vantagem sobre as folhas de cálculo), mas o número de utilizadores simultâneos é limitado, tal como as diferentes autorizações de utilizador que podem ser definidas.

Controlo de qualidade e segurança de dados: O software dedicado de bases de dados suporta geralmente funcionalidades importantes que ajudam na introdução de dados e no processo de controlo de qualidade dos dados. Por exemplo: As alterações feitas a uma base de dados através da adição, alteração ou eliminação de dados só se tornarão permanentes depois de uma "transacção de compromisso" ter sido emitida, quando algo imprevisto acontecer todas as alterações podem ser revertidas através da emissão de um "rollback". As versões desktop armazenam toda a base de dados num único ficheiro, tornando relativamente simples fazer cópias de segurança para um disco rígido externo ou para a nuvem, ou mesmo partilhar a base de dados completa, muito parecido com uma folha de cálculo. Para uma cópia de segurança mais avançada, será necessário um software dedicado.

Formação de jovens profissionais de águas subterrâneas dos Estados Membros da SADC sobre recolha de dados durante o workshop do projecto.

6.4.1 Limitações das Soluções de Bases de Dados Baseadas em Ambiente de Trabalho

- **São necessários conhecimentos especializados** em bases de dados:
  As opções de bases de dados de secretária podem ser operadas sem uma interface de utilizador especialmente desenvolvida, mas o conhecimento sobre bases de dados é necessário para o fazer. Para tornar a base de dados mais acessível para um grupo de utilizadores mais amplo, é necessário desenvolver uma interface de utilizador (para ocultar todos os comandos de baixo nível do utilizador final). Desenvolver uma boa interface de utilizador requer conhecimentos especializados, bem como uma boa compreensão do fluxo de trabalho e da capacidade técnica do pessoal envolvido.
- **As opções de múltiplos utilizadores**, embora possíveis, ainda são limitadas em comparação com os sistemas de bases de dados baseados em servidores. Para permitir o acesso remoto às soluções baseadas no servidor de bases de dados são necessárias.

6.5 Base de dados relacional - Opção baseada no servidor

As principais vantagens das opções baseadas no servidor em relação às opções baseadas no ambiente de trabalho são:

- A enorme capacidade de armazenamento de dados;
- Opções avançadas de acesso multiutilizador com diferentes níveis de autorização; e
- Possibilidades de acesso remoto.

Estas são as três funcionalidades relevantes para uma base de dados nacional abrangente sobre águas subterrâneas que normalmente terá muitos utilizadores diferentes, possivelmente em locais diferentes. Estão disponíveis várias opções baseadas em servidor, tais como MS SQL-Server ou base de dados Oracle.

As opções baseadas no servidor são superiores (ou pelo menos iguais) às outras opções de base de dados. As opções baseadas no servidor tendem a ser feitas à medida, o que também permite a implementação de interfaces de utilizador avançadas com integração de muitas

ferramentas de dados diferentes.

6.5.1 Limitações das soluções de base de dados baseadas no Servidor

Soluções baseadas em servidores ou "motores de bases de dados" são extremamente poderosas mas requerem pessoal com formação especializada em gestão de bases de dados. O administrador das bases de dados é responsável, juntamente com os programadores, pela execução da interface do utilizador.

Para além do motor de base de dados, é necessária uma estrutura de base de dados e uma interface (feita à medida) front-end / interface de utilizador para tornar a base de dados utilizável por aqueles que introduzem e recuperam os dados. O desenvolvimento de uma interface de utilizador personalizada pode ser um processo moroso e dispendioso e exigir uma compreensão profunda dos conjuntos de dados, do fluxo de trabalho relacionado com os dados, dos diferentes utilizadores, das suas necessidades e da sua capacidade técnica em termos de utilização do software. Quando as versões de folha de cálculo e de ambiente de trabalho podem ser operadas sem uma interface de utilizador, isto é impossível no caso de bases de dados baseadas em servidor.

Ao executar a base de dados num servidor, é necessário um recinto seguro para a proteger. Esta pode ser uma sala climatizada com materiais retardadores de incêndio, um sistema automático de extinção de incêndios, uma fonte de alimentação ininterrupta, etc. O preço da base de dados de águas subterrâneas baseada em servidor, juntamente com toda a infra-estrutura, é considerável. Uma alternativa é a utilização de um serviço de alojamento. Muitos destes serviços oferecem servidores virtuais que podem ser utilizados para gerir uma base de dados. Nestes casos, a organização de alojamento trata de toda a infra-estrutura (hardware), mas não da interface do utilizador.

Tabela 6.1: Visão geral das funcionalidades da base de dados e requisitos organizacionais para diferentes opções de base de dados

Tipo de base de dados	Spreadsheet database	Desktop relational database	Server based database
Número máximo utilizadores simultâneos	1	255 (teoreticamente, MS Access)	32676 (MS SQL-Server)
Tamanho máximo da base de dados	2 GB (MS Excel)	2 GB (MS Access)	524272 TB
Modelo de base de dados primária	Plano	Relacional	Relacional
Funcionalidade de consulta/filtragem	Básico	Avançado	Avançado
Indexação de dados	Não	Sim	Sim
Verificações lógicas na introdução de dados	Básico	Avançado	Avançado
Processo de controlo de qualidade dos dados	Muito básico / impraticável	Possível	Avançado
Trilha de auditoria	Não	Não	Possível (deve fazer parte da arquitectura da base de dados)
Cópia de segurança	Disco rígido externo ou cloud.	Disco rígido externo ou cloud	São necessários procedimentos de backup dedicados.
Papéis e autorizações dos utilizadores	Apenas 2 papéis podem ser definidos utilizando uma palavra-passe para a folha de cálculo	Podem ser definidos diferentes papéis de utilizador e níveis de autorização	Gestão avançada das funções dos utilizadores e níveis de autorização possíveis (e necessários)
Interface do utilizador	Geralmente não necessário, mas possível (por exemplo, formulários de introdução de dados)	Não necessário, mas prático; relativamente fácil	Requerido e feito à medida

Integração de várias ferramentas (processamento, análise, visualização, relatório)	Básico	Moderado (auto-fabricado/ à medida)	Avançado (feito à medida)
Capacidade humana necessária	• Os utilizadores finais requerem apenas uma compreensão básica do software de folha de cálculo • A criação e manutenção da folha de cálculo requer uma compreensão básica adicional dos conceitos de bases de dados relacionais e programação (opcional) em Visual Basic.	• Os utilizadores finais podem necessitar de formação básica na utilização da base de dados. • O desenvolvimento e manutenção podem ser feitos por pessoal com experiência/formaçã o mais avançada na utilização de bases de dados desktop e conceitos de bases de dados relacionais	• Os utilizadores finais necessitarão de formação na utilização da interface da base de dados e das ferramentas específicas que serão autorizados a utilizar (formação diferenciada) • Desenvolvedor(es) de bases de dados e administrador(es) necessário(s) com conhecimentos especializados em gestão de bases de dados e manutenção de servidores etc.
Implicações financeiras	• Software: pouco ou nada (a maioria das pessoas já tem o software) • Formação: muito pouco • Hardware: não é necessário hardware adicional para além das unidades de cópia de segurança	• Software: limitado • Formação: limitada para os utilizadores • Hardware: não é necessário hardware adicional para além das unidades de cópia de segurança	• Software: Costly • Formação: extensa • Hardware: hardware adicional necessário (servidor, sala do servidor) e infra-estruturas relacionadas, que requerem todos manutenção (custos recorrentes)

6.6 Mensagens Principais

- **Os dados precisam de ser armazenados de forma estruturada, em formatos digitais que possam ser facilmente processados para permitir o acesso, recuperação e processamento eficientes e rentáveis para estudos futuros;**
- **A escolha do software de base de dados deve basear-se na quantidade (esperada) de dados a armazenar, bem como na capacidade humana disponível e nas competências para gerir os dados; as soluções avançadas de base de dados baseadas em servidor fornecem as soluções mais robustas, mas a um custo elevado: A criação e manutenção de soluções avançadas de base de dados baseadas em servidor requer um investimento inicial substancial, mas tem também custos recorrentes de capacidade especializada para manter a base de dados e os servidores de dados, para além dos custos relacionados com a actualização padrão dos dados na base de dados;**
- **Para países com uma quantidade limitada de dados sobre águas subterrâneas, recursos limitados e capacidade humana, folhas de cálculo bem concebidas podem ser uma alternativa adequada e altamente rentável às soluções avançadas de bases de dados baseadas em ambiente de trabalho ou em servidor. Se os dados estiverem bem estruturados, a migração dos dados para sistemas de bases de dados mais avançados numa fase posterior, quando necessário, é relativamente simples; e**
- **Os Estados Membros precisam de desenvolver uma convenção nacional de nomenclatura para os sítios de águas subterrâneas e uma nomenclatura única normalizada de todos os parâmetros das bases de dados.**

7 PARTILHA E ACESSO AOS DADOS

7.1 Introdução

O Diagnóstico Global sobre a Governação das Águas Subterrâneas (FAO, 2016a) salientou que a gestão eficaz das águas subterrâneas requer a participação activa de todos os interessados. Para se envolverem activa e responsavelmente na gestão das águas subterrâneas, as partes interessadas precisam de estar conscientes do estado das águas subterrâneas e dos desafios da sustentabilidade, por exemplo, em relação à utilização das águas subterrâneas e à poluição. Os departamentos de águas subterrâneas devem partilhar activamente dados e informações fiáveis e actualizados sobre as águas subterrâneas com os interessados e dar-lhes acesso a dados e informações a seu pedido.

7.2 A importância da Partilha de Dados e Informações

A necessidade de partilhar dados e informações há muito que é reconhecida a nível regional e global. (Ver Caixa 7.1).

Caixa 7.1 Reconhecimento global da importância do acesso dos interessados aos dados e informações ambientais.

O Princípio 10 da Convenção do Rio de 1992 das Nações Unidas estipula que "cada indivíduo deve ter acesso adequado à informação relativa ao ambiente detida pelas autoridades públicas, incluindo informação sobre materiais e actividades perigosas nas suas comunidades" e que "os Estados devem facilitar e encorajar a consciencialização e participação do público, tornando a informação amplamente disponível". *Ver* https://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm

Na Europa, isto levou à adopção da Convenção de Aarhus em 1988 pela UNECE (que entrou em vigor em 2001, Ver http://ec.europa.eu/environment/aarhus/index.htm) e da Directiva INSPIRE em 2007 pela União Europeia (Ver https://inspire.ec.europa.eu/inspire-directive/2).

A Convenção de Aarhus afirma que: "A fim de contribuir para a protecção do direito de cada pessoa das gerações presentes e futuras a viver num ambiente adequado à sua saúde e bem-estar, cada parte garantirá os direitos de acesso à informação, participação pública na tomada de decisões, e acesso à justiça em matéria ambiental, em conformidade com as disposições da presente Convenção".

A directiva INSPIRE visa "criar uma infra-estrutura de dados espaciais da União Europeia para efeitos das políticas ambientais da UE e das políticas ou actividades que possam ter impacto no ambiente". Esta infra-estrutura europeia de dados espaciais permitirá a partilha de informação espacial ambiental entre organizações do sector público, facilitará o acesso do público à informação espacial em toda a Europa e ajudará na elaboração de políticas além fronteiras". A Directiva entrou em vigor em 2007 e será implementada em várias fases, sendo a sua plena implementação exigida até 2021.

Paralelamente, a UE criou o Sistema de Informação sobre a Água para a Europa (WISE, Ver https://water.europa.eu/freshwater) em 2007, uma plataforma baseada na Web para a partilha de informações e dados sobre a água. De acordo com a Directiva-Quadro da Água (Ver http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html), os Estados Membros da UE devem apresentar relatórios sobre os recursos hídricos. Os dados sobre a água fornecidos pelos Estados Membros são compilados e partilhados no WISE.

A experiência europeia mostra até agora que a partilha de dados dentro e entre países pode ser alcançada se for legalmente aplicada e se as organizações tiverem tempo suficiente para a implementar, passo a passo.

A nível da SADC, a importância da partilha de dados é reconhecida na Política Regional da Água da SADC (SADC, 2005), que declara que:

i) Os Estados Membros devem partilhar atempadamente a informação e os dados disponíveis relevantes relativos às condições hidrológicas, hidrogeológicas, da qualidade da água, meteorológicas e ambientais dos cursos de água partilhados;

ii) Os Estados Membros garantirão que os membros do público na região tenham acesso a informações relevantes e compreensíveis sobre os recursos hídricos com impacto na sua saúde ou segurança e nos seus interesses económicos; e

iii) A SADC, (Shared Water Course Institutions) SWCI, bem como os Estados Membros estabelecerão mecanismos de interpretação e divulgação regulares de informações essenciais sobre os recursos hídricos, de modo a que o público seja regularmente informado.

A implementação da Política Regional da Água da SADC pelos Estados Membros está a ganhar força. A partilha de informação (sob a forma de relatórios através de websites) é agora prática comum na maioria dos Estados Membros, embora a quantidade de informação gerada com base em dados sobre águas subterrâneas continue a ser limitada (IGRAC e IGS, 2019b). O acesso e a partilha activa dos dados relativos às águas subterrâneas estão geralmente menos desenvolvidos nos Estados Membros (IGRAC e IGS, 2109b). No entanto, a partilha de dados é crucial porque os dados são objectivos e independentes do contexto, ao contrário da informação (Van der Gun 2018, Caixa 7.2). Uma notável excepção é o Arquivo Nacional de Águas Subterrâneas da África do Sul, que fornece acesso em linha a dados sobre águas subterrâneas.

Caixa 7.2 Dados vs informação

Os termos "dados" e "informação" são frequentemente utilizados como sinónimos. Neste Quadro consideramos "dados" como dados brutos, não processados, armazenados em bases de dados de águas subterrâneas, enquanto "informação" é a mensagem resultante da análise de dados (ver figuras a e b abaixo). A necessidade de partilhar 'informação' é geralmente bem compreendida nos Estados Membros, embora nem sempre seja implementada de forma eficiente. A necessidade de partilhar 'dados' é menos aceite. No entanto, a partilha de dados é crucial porque os dados são objectivos e independentes do contexto, ao contrário da informação (Van der Gun 2018). Os dados podem ser utilizados e reutilizados para produzir informação a vários níveis e para diferentes fins.

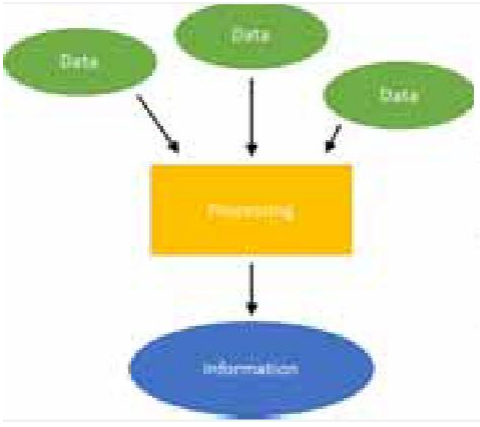


Fig. a: A informação é criada a partir da cadeia de dados

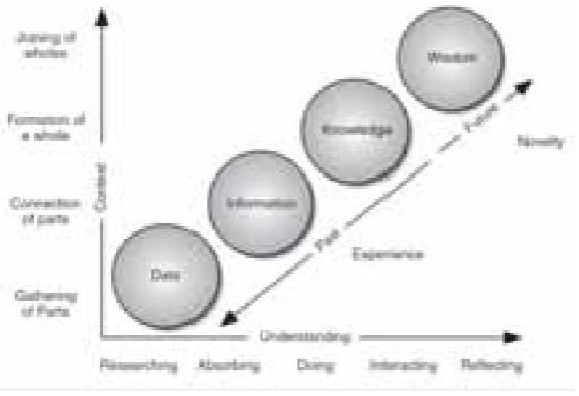


Fig. b: A hierarquia DIKW representada como linear (Clark, 2004 em van der Gun, 2018).

Há vários níveis em que a partilha de dados e informações sobre águas subterrâneas deve ser organizada:

- **Entre organizações que recolhem dados relacionados com as águas subterrâneas**

  A avaliação das águas subterrâneas requer dados de diferentes tipos que são recolhidos por vários interessados (ver Capítulo 2 e Tabela 2.1 sobre dados para a avaliação de aquíferos transfronteiriços). Cada Estado Membro tem normalmente uma organização

principal responsável pela recolha e gestão dos dados sobre águas subterrâneas, como um departamento de águas subterrâneas, normalmente no seio do Ministério da Água. Dados adicionais relacionados com as águas subterrâneas e subterrâneas podem ser recolhidos por outras partes interessadas, tais como empresas de abastecimento de água, outros departamentos do Ministério da Água, outros ministérios, nível provincial/distrital, municípios, universidades e organizações não governamentais. É importante que os departamentos de águas subterrâneas cooperem activamente com outros detentores de dados para terem acesso a todos os dados e informações necessárias para a avaliação integrada dos recursos de águas subterrâneas e para o desenvolvimento de intervenções adequadas.

- **A nível transfronteiriço**

  A avaliação e gestão conjunta de aquíferos transfronteiriços (TBA) exige que os países troquem dados e informações sobre estes recursos. A partilha de dados entre diferentes países implica um desafio adicional de harmonização dos dados, porque diferentes países armazenam geralmente dados em diferentes formatos. Foi feito um trabalho pioneiro na partilha de dados e harmonização nos TBAs da SADC para o aquífero Stampriet, partilhado pelo Botswana, Namíbia e África do Sul (projecto GGRETA), e para o aquífero Ramotswa, partilhado pelo Botswana e África do Sul (projecto RAMOTSWA). As Organizações de Lagos e Bacias Hidrográficas (L/RBOs) também desempenham um papel na partilha de dados transfronteiriços, e há uma crescente consciência da necessidade de incorporar dados sobre águas subterrâneas nos sistemas geridos pelas L/RBOs, tendo em vista a gestão integrada dos recursos hídricos e a utilização conjuntiva das águas subterrâneas e superficiais.

- **A nível regional**

  Para além da cooperação específica TBA ou L/RBO, há uma procura crescente de dados para estudos regionais, em particular numa região como a SADC com uma cooperação muito activa a nível regional. Por exemplo, para avaliar os impactos das alterações climáticas nas águas subterrâneas, uma vez que as alterações climáticas não se detêm nas fronteiras nacionais. As políticas regionais devem ser orientadas por informações regionais (por exemplo, indicadores, relatórios), baseadas, entre outros, em conjuntos de dados fornecidos pelos Estados Membros. Além disso, há um benefício adicional na partilha de dados e informação, uma vez que os Estados Membros podem aprender uns com os outros. Muitos Estados Membros partilham as mesmas questões relativas às águas subterrâneas (por exemplo, declínio do nível da água, contaminação, intrusão da água do mar) e podem beneficiar das experiências de outros países. O intercâmbio de conhecimentos implica também o intercâmbio de informações e dados.

- **Com o público em geral e a sociedade civil**

  Os utilizadores das águas subterrâneas são os principais beneficiários da recolha e gestão dos dados relativos às águas subterrâneas. Estes interessados podem ser indivíduos ou grupos com interesses semelhantes. É crucial que os interessados em águas subterrâneas estejam bem informados sobre as questões das águas subterrâneas, com base num acesso transparente aos dados e informações. Os programas de recolha de dados e gestão de dados sobre águas subterrâneas são geralmente financiados através de receitas fiscais. Por conseguinte, pode argumentar-se que os contribuintes também são proprietários dos dados recolhidos nas actividades que subsidiam. É tanto mais verdade quando as pessoas contribuem para a recolha de dados sobre águas subterrâneas, como perfuradores ou comunidades envolvidas na monitorização baseada na comunidade. Fornecer acesso aos dados pode também ser um incentivo para que potenciais fornecedores de dados contribuam para a recolha de dados sobre águas subterrâneas, uma vez que também podem utilizar os dados em seu próprio benefício.

7.3 Partilha Inteligente de Dados

Ter os dados devidamente armazenados numa base de dados centralizada (*ver* capítulo 6) é a primeira condição que permite um acesso eficiente aos dados. Esta secção explora diferentes formas de melhorar a partilha de dados.

7.3.1 Dados Abertos

A Figura 7.1 fornece uma visão geral dos diferentes níveis de acesso aos dados. A forma mais fácil e mais eficiente de partilhar dados é tornando-os acessíveis a qualquer pessoa, independentemente de quem faça o pedido e com que finalidade. Tais dados são denominados "dados abertos". Na maioria dos Estados Membros da SADC, o acesso aos dados das águas subterrâneas é de alguma forma restrito, quer explicitamente (por exemplo, os dados estão disponíveis mediante pedido, possivelmente contra uma taxa nominal) ou implicitamente (ou seja, a organização não tem um repositório em linha que apoie a partilha eficiente de dados). Um exemplo de dados abertos é o Arquivo Nacional de Águas Subterrâneas da África do Sul.

Os dados protegidos tendem a ser menos eficientes do que os dados abertos. Ambas as partes (as que solicitam dados e as que os fornecem) devem investir tempo e dinheiro cada vez que são necessários dados ou ainda pior: dados que custam muito a recolher não estão de todo a ser utilizados. O investimento numa cultura e numa infra-estrutura informática que permita políticas de dados abertas e o acesso aos dados sem intervenção do proprietário dos dados é, em última análise, uma forma rentável de partilhar dados.

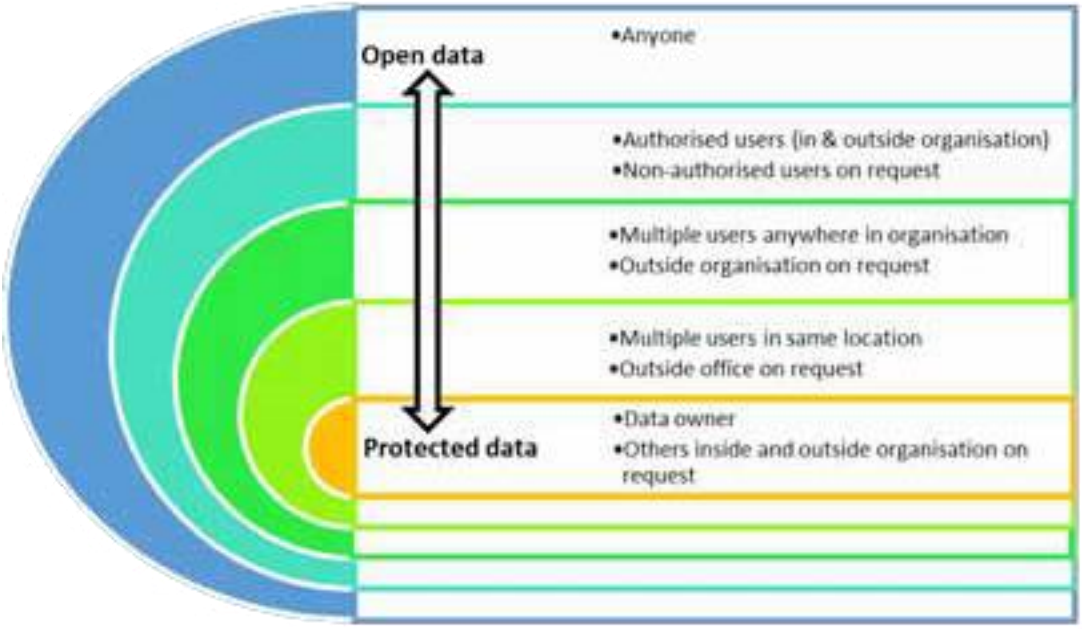


Figura 7.1 Diferentes níveis de acesso aos dados, com círculos que representam grupos de interessados que têm acesso fácil

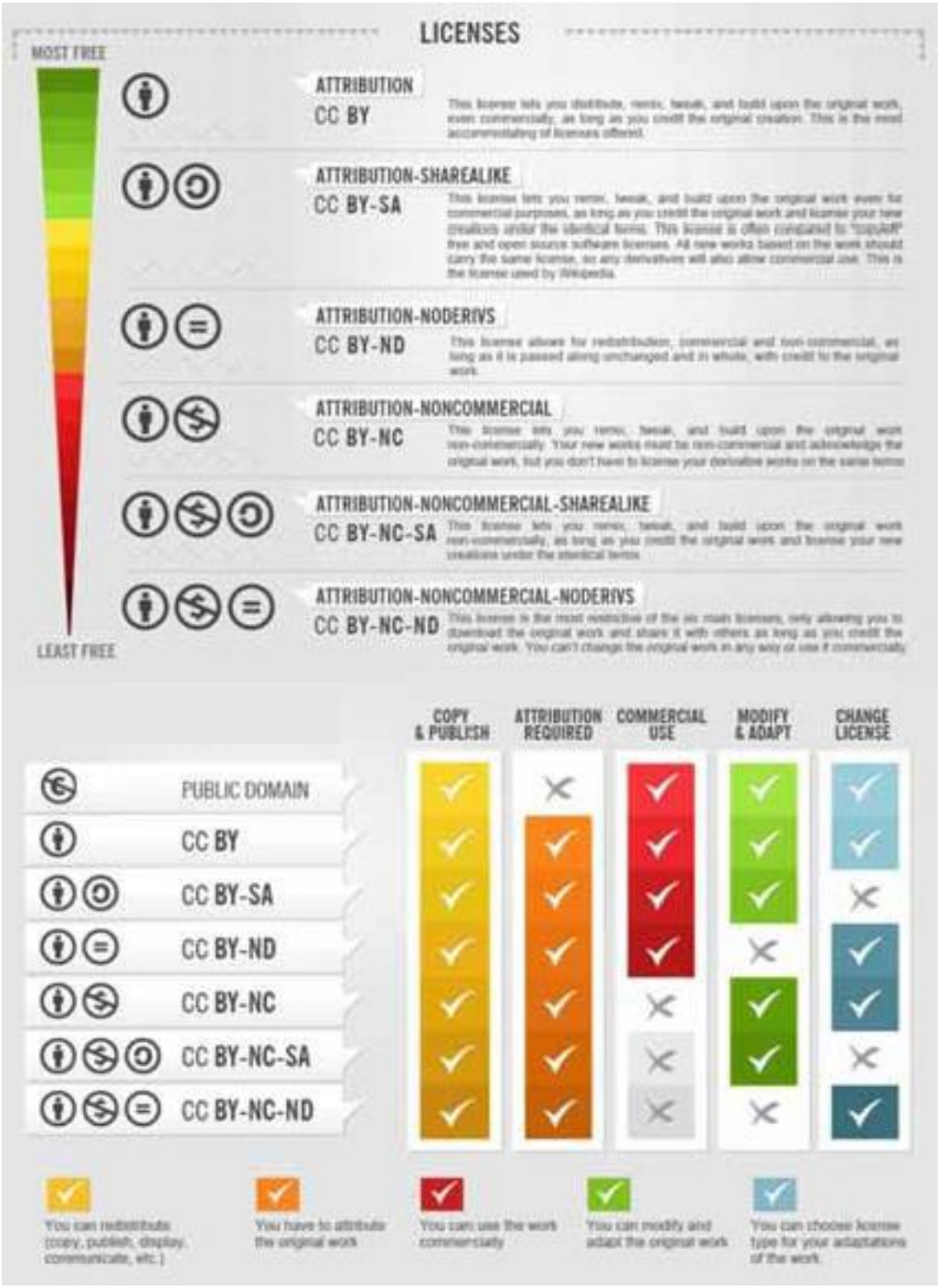
Para resolver questões de propriedade e direitos de autor, os dados abertos podem ser licenciados (Gabinete de Meteorologia, 2017). Licenças prontamente disponíveis como as licenças Creative Commons estão disponíveis para especificar diferentes opções em termos de atribuição (fornecendo créditos ao proprietário original dos dados), se os dados podem ser utilizados de forma reprocessada ou não, para uso comercial e/ou não-comercial. A Figura 7.2 fornece uma visão geral dos tipos de licenças Creative Commons actualmente disponíveis.

7.3.2 Metadados

Ao partilhar dados, é muito importante partilhar todos os metadados relevantes, ou seja, "dados sobre os dados". Os metadados devem explicar o que são realmente os dados. Por exemplo, os

níveis das águas subterrâneas podem ser expressos como elevações ou profundidades absolutas, diferentes unidades podem ser utilizadas para expressar dados sobre águas subterrâneas, diferentes sistemas de coordenadas são utilizados em toda a SADC. Os metadados devem também fornecer informação relevante como o método utilizado para recolher os dados, a data da recolha, os detalhes do proprietário dos dados, a finalidade dos dados, etc. A relevância dos metadados aumenta quando se partilham dados a nível transfronteiriço ou internacional, porque são maiores as probabilidades de serem utilizados diferentes métodos e convenções.

Para utilizar os dados de forma eficiente, é crucial fornecer (e portanto armazenar em bases de dados de águas subterrâneas) todos os meta-dados relevantes. Isto deveria ser organizado a nível nacional, mas a harmonização poderia ser levada ao nível da SADC através de um grupo de trabalho dedicado sob as estruturas existentes, para facilitar o intercâmbio de dados entre países.



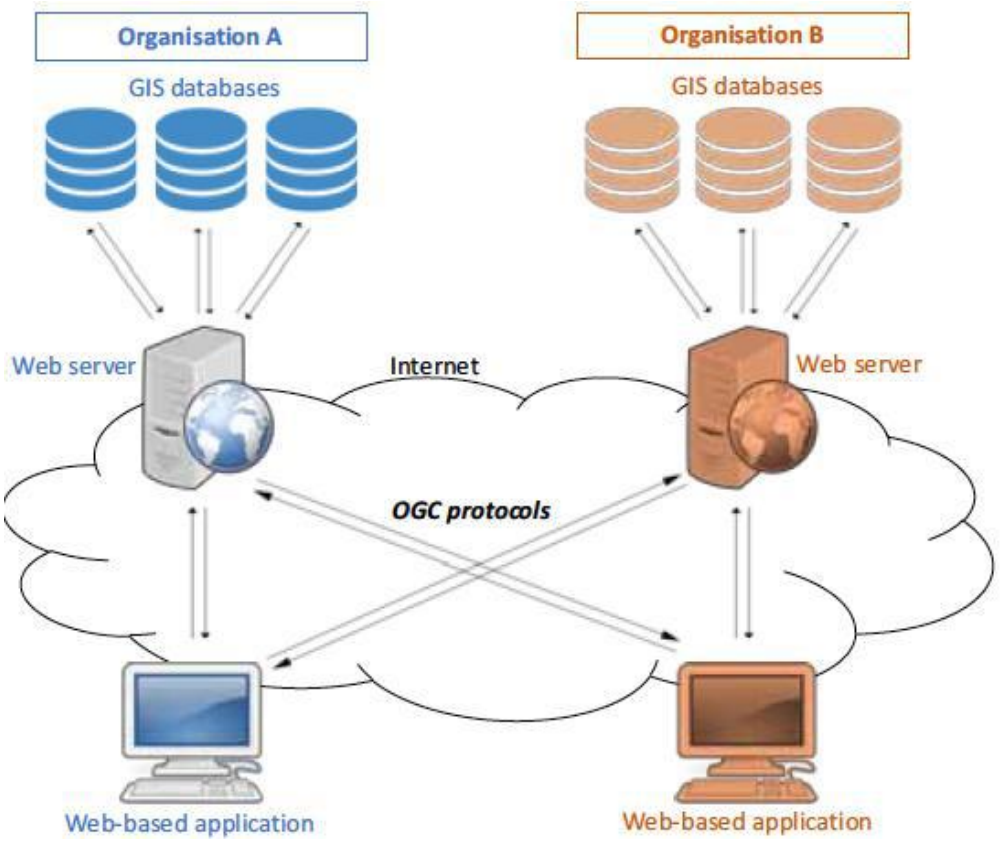
Fonte: https://foter.com/blog/how-to-attribute-creative-commons-photos/

Figura 7.2 Visão geral das principais Licenças Criativas Comuns

7.3.3 Normas e Interoperabilidade de Consórcio Geoespacial Aberto

Existem muitas aplicações de software e formatos de ficheiro para tratamento de dados tabulares ou geoespaciais. Nem todas as aplicações de software podem ler todos os formatos de ficheiro. Isto causa problemas em termos de interoperabilidade, uma vez que os ficheiros de dados recebidos de outra organização utilizando outras aplicações e formatos podem ser impossíveis de utilizar.

O Consórcio Geoespacial Aberto (OGC) foi criado para tratar de questões de interoperabilidade com aplicações e formatos de dados geoespaciais. Desde 1994, o OGC visa desenvolver e implementar normas e protocolos para a formatação e intercâmbio de dados geoespaciais, para assegurar a interoperabilidade entre os sistemas de dados geoespaciais e os utilizadores. Mais de 500 organizações que lidam com dados geoespaciais, provenientes de diferentes sectores (por exemplo, comercial, governamental, sem fins lucrativos, investigação) e de diferentes países, estão activamente envolvidas.



Por exemplo, o Web Map Service (WMS) é um protocolo OGC para partilha de imagens geo-referenciadas através da Internet, como um mapa de furos de monitorização. WMS também suporta a visualização de dados associados a características nas imagens, como dados de monitorização de águas subterrâneas associados a furos num mapa. Para poderem partilhar dados via WMS, as organizações devem ter os seus dados geoespaciais armazenados numa base de dados SIG num servidor de mapas que permita o acesso à Internet (Figura 7.3).

Figura 7.3 Resumo esquemático do intercâmbio de dados entre duas organizações que utilizam normas e protocolos OGC

Os dados partilhados via WMS podem ser visualizados em qualquer navegador web em formato básico. Os dados tornam-se mais úteis quando visualizados em aplicações GIS dedicadas baseadas na web que suportam dados de múltiplos servidores e permitem interacções do utilizador, tais como o zoom e o acesso à tabela de características. Existem aplicações de

software gratuitas disponíveis para bases de dados SIG, servidores de mapas e aplicações SIG baseadas na Web que podem ser utilizadas para criar uma Infra-estrutura de Dados Espaciais (SDI) (Ver Caixa 7.3).

Caixa 7.3 Resumo do software disponível gratuitamente para armazenamento, partilha em linha e visualização de dados geoespaciais

A partilha de dados geoespaciais na Internet utilizando normas do Consórcio Geo-espacial Aberto (OGC) requer diferentes componentes de software: uma base de dados GIS, um servidor de mapas e uma aplicação de utilizador baseada na Web Estão disponíveis soluções licenciadas comercialmente, mas existem também vários programas de software gratuitos e muito adequados, o que reduzirá os custos de desenvolvimento e manutenção de um (SDI).

Por exemplo:

- Base de dados GIS: PostGIS (https://postgis.net/)
- Servidor de mapas: GeoServer (http://geoserver.org/), MapServer (https://www.mapserver.org/)
- Aplicações baseadas na Web: OpenLayers (https://openlayers.org/)

Software gratuito como GeoNode (http://geonode.org/) e GeoNetwork (https://geonetworkopensource.org/) integram os três componentes num único pacote e proporcionam uma interface fácil de usar.

Todas estas aplicações são também de código-fonte aberto.

Para implementar serviços web para dados geoespaciais, é necessária uma ligação à Internet razoavelmente fiável, bem como investimentos para instalar e manter os componentes de hardware (servidor) e software e custos para o pessoal (especializado).

A OGC desenvolveu vários outros serviços, para além do WMS, que operam de forma semelhante e que podem ser úteis para os dados de águas subterrâneas. Uma lista completa dos serviços da OGC pode ser encontrada no website da OGC: http://www.opengeospatial.org/.

Os serviços de partilha de dados da OGC são suportados por linguagens informáticas dedicadas baseadas em XML, tais como a Linguagem Mark-up Geográfica (GML). Em desenvolvimento está a Linguagem de Mark-up das Águas Subterrâneas (GWML) , que visa apoiar o intercâmbio de todos os tipos de dados sobre águas subterrâneas, ou seja, não só mapas mas também registos litológicos de furos, dados de construção de furos, dados de exploração geofísica, modelos hidrogeológicos e dados de monitorização de águas subterrâneas.

Com protocolos e normas OGC, os dados geoespaciais podem ser acedidos em qualquer lugar, desde que haja Internet, e com uma vasta gama de aplicações. Oferecem flexibilidade no acesso e autorizações dos utilizadores. Podem ser escolhidos diferentes protocolos de partilha de dados, suportando diferentes acções com os dados, por exemplo, visualização, descarregamento, edição. As organizações podem bloquear os dados com uma chave de acesso (password) e partilhar a chave com organizações seleccionadas, controlando assim quem pode aceder aos dados. Da perspectiva dos utilizadores dos dados, os dados são acessíveis em qualquer altura sem necessidade de os armazenar e gerir, o que exigiria tempo e dinheiro extra. O armazenamento e gestão de dados permanecem sob a responsabilidade da organização proprietária dos dados. Os utilizadores de dados não precisam de manter cópias locais dos dados, têm sempre acesso aos dados mais actualizados directamente dos proprietários dos dados.

As vantagens dos protocolos de partilha de dados são óbvias e algumas organizações na SADC já partilham dados sobre águas subterrâneas utilizando serviços OGC, como a SADC-GMI (http://www.gip.sadcgmi.org/), ORASECOM (http://gis.orasecom.org/), e os departamentos de água do Botswana e da África do Sul para partilhar dados sobre o aquífero transfronteiriço de

Ramotswa (http://www.ramotswa.unigrac.org/) (Figura 7.4)

Figura 7.4 Exemplos de pedidos de partilha de dados sobre águas subterrâneas na SADC.

7.4 Mensagens Principais

- **A sensibilização e o envolvimento dos interessados na gestão das águas subterrâneas exige que os interessados tenham acesso a dados e informações sobre as águas subterrâneas, o que é da responsabilidade dos departamentos de águas subterrâneas;**
- **A partilha de dados permitirá decisões informadas na gestão de aquíferos transfronteiriços;**
- **Os departamentos de águas subterrâneas devem cooperar activamente com outros proprietários ou depositários de dados para terem acesso a todos os dados e informações necessárias à avaliação integrada dos recursos de águas subterrâneas e ao desenvolvimento de intervenções adequadas no seu país;**
- **Os desenvolvimentos nas TIC oferecem soluções promissoras para a partilha de dados, como normas de dados abertas que permitem o acesso sem descontinuidades aos dados de outras organizações, eliminando simultaneamente a necessidade de gerir os dados em múltiplas organizações; e**
- **É necessário desenvolver e implementar protocolos a nível nacional e da SADC para as questões técnicas e práticas relacionadas com a partilha de dados, incluindo questões tais como formatos normalizados e meta-dados mínimos exigidos. O ideal é que isto seja feito através de grupos de trabalho sob estruturas existentes.**

8 TRADUZINDO DADOS EM INFORMAÇÃO

8.1 Introdução

O objectivo dos dados relativos às águas subterrâneas é produzir informação de apoio à gestão das águas subterrâneas e campos relacionados. Este capítulo aborda o tipo de informação que pode ser processada a partir de dados sobre águas subterrâneas, o que é necessário para transformar dados em informação e como a informação pode ser partilhada com os interessados visados. As lacunas na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas podem ser identificadas ao processar dados em informação: este capítulo discute como o processamento de dados deve orientar a melhoria ou o desenvolvimento futuro da recolha de dados sobre águas subterrâneas e programas de gestão de dados.

8.2 O que é Informação Relevante sobre as águas subterrâneas?

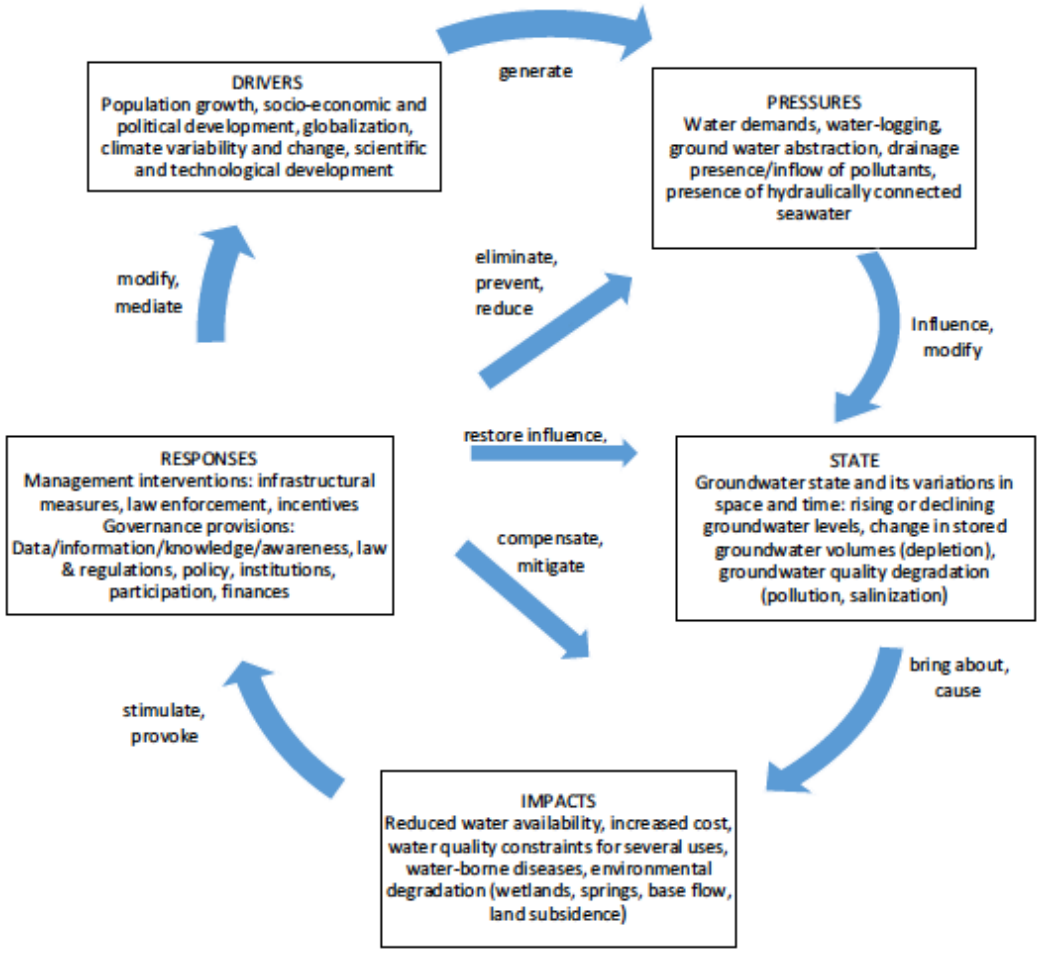
O capítulo anterior destacou a necessidade de partilhar dados e informações sobre águas subterrâneas com todos os interessados. As partes interessadas nas águas subterrâneas incluem hidrogeólogos, cientistas sociais, advogados, planeadores, gestores de águas subterrâneas, políticos e outros decisores, indústrias utilizadoras de água, famílias, ambientalistas e o público em geral (van der Gun 2018). É importante perceber que os diferentes intervenientes têm necessidades diferentes em matéria de informação sobre águas subterrâneas e um nível diferente de compreensão das águas subterrâneas. Por exemplo, é provável que um proprietário de um poço privado esteja interessado na qualidade da água do seu próprio poço, mas pode estar menos interessado no estado geral dos recursos de águas subterrâneas numa região maior ou num aquífero. Pode também não compreender os resultados detalhados das análises laboratoriais, mas simplesmente quererá saber se a qualidade da água é suficiente para o seu propósito (por exemplo, água doméstica, rega de gado, e culturas de irrigação). Uma empresa de perfuração necessitará de informações mais detalhadas do que o proprietário do poço, por exemplo mapas indicando a produtividade do aquífero, profundidade das camadas aquíferas e águas subterrâneas em geral numa região.

A monitorização das águas subterrâneas fornece aos decisores informações relevantes

Os decisores políticos estarão interessados no estado e tendências dos recursos de águas subterrâneas, de modo a darem respostas políticas aos desafios enfrentados. Por exemplo 'os níveis das águas subterrâneas estão a diminuir na região x', 'a contaminação por arsénico ocorre na região y', 'a intrusão da água do mar está a progredir na cidade de...'. Tal informação, porém, é insuficiente para desenvolver intervenções adequadas. Para conseguir uma gestão sustentável dos recursos de águas subterrâneas, é fundamental compreender os mecanismos que influenciam o estado e as tendências dos recursos de águas subterrâneas, bem como os impactos que as mudanças nas águas subterrâneas têm na sociedade e no

ambiente. Por conseguinte, é necessária informação mais elaborada, tal como "os níveis das águas subterrâneas estão a diminuir na região x como resultado das alterações climáticas e isto pode causar a secagem de poços rasos", "a contaminação por arsénico na região y é de origem natural e constitui uma ameaça imediata para a saúde das comunidades rurais que dependem destes poços para a água doméstica", "a intrusão da água do mar está a progredir na cidade de .... devido ao bombeamento excessivo no campo de poços municipais e está a pôr em perigo o abastecimento público de água".

O quadro Condutores, Pressões, Estado, Impacto e Resposta (DPSIR)[5] adaptado à gestão dos recursos hídricos subterrâneos (van der Gun 2018, Figura 8.1), fornece um quadro útil para analisar os condutores e as pressões que podem afectar o estado das águas subterrâneas, os impactos que estas têm e o que poderiam ser respostas adequadas para melhorar o estado dos recursos de águas subterrâneas e para compensar ou mitigar os impactos negativos. Os programas de recolha de dados sobre águas subterrâneas podem produzir dados para avaliar as pressões (por exemplo, monitorização das captações de águas subterrâneas), o Estado (através da monitorização do nível das águas subterrâneas e da qualidade das águas subterrâneas) e os Impactos (por exemplo, monitorização das nascentes). Os dados típicos das águas subterrâneas, contudo, não serão suficientes para analisar todo o conjunto DPSIR, e outros dados precisam de ser obtidos de outras organizações (ver também capítulo 2).



Fonte: van der Gun (2018)

Figura 8.1 O quadro de análise DPSIR, adaptado à gestão dos recursos hídricos subterrâneos

[5] Desenvolvido pela Agência Europeia do Ambiente, o DPSIR (para Condutores, Pressões, Estado, Impacto e Resposta) é um quadro causal para analisar as relações entre a sociedade e o ambiente, ou seja, como a sociedade tem impacto no ambiente e vice-versa. Agência Europeia do Ambiente (AEA), 1999 Indicadores ambientais: Tipologia e visão geral (disponível em https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25). O DSPSIR é uma extensão do modelo PSR original desenvolvido pela OCDE, 1991 Indicadores ambientais. Um conjunto preliminar. Paris, França..

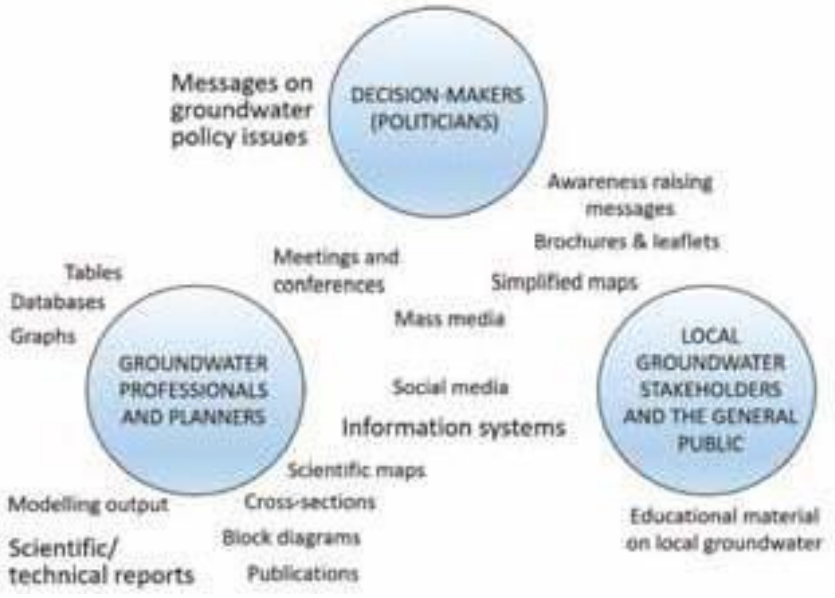
8.3 Organização da Análise e Interpretação de Dados

As águas superficiais e subterrâneas comportam-se de forma diferente, pelo que requerem ferramentas, métodos e conhecimentos diferentes e especializados para a sua análise. As análises de dados sobre águas subterrâneas requerem pessoal com formação em hidrogeologia (de preferência com um grau académico superior). Questões específicas requerem pessoal especializado em diferentes campos da hidrogeologia, como a hidrogeoquímica ou a modelação do fluxo das águas subterrâneas. Dado que são necessários dados e informações de outras disciplinas para avaliar e gerir os recursos de águas subterrâneas, outros especialistas devem também estar envolvidos na análise, com formação em hidrologia, engenharia, agricultura, gestão do uso do solo ou economia, dependendo das questões em causa. Grandes departamentos de águas subterrâneas podem ter alguns destes conhecimentos especializados disponíveis no ministério, mas normalmente isto requer cooperação com outros departamentos e ministérios ou a contratação de consultores externos.

Além de competências e conhecimentos científicos, a análise hidrogeológica requer sobretudo programas de software dedicados, tais como a interpretação de testes de bombagem ou levantamentos geofísicos, interpretação de dados hidroquímicos, análise GIS e modelação do fluxo de águas subterrâneas. O acesso ao software não deve ser um problema porque muitos estão disponíveis gratuitamente. A formação adequada do pessoal na utilização destas ferramentas de software é mais desafiante. Para além das competências desenvolvidas na formação académica, os departamentos de águas subterrâneas podem também organizar formações internas. Uma selecção cuidadosa dos programas de software ajudará também a reduzir as questões de formação e interoperabilidade. O software mais abrangente ou mais caro nem sempre é o melhor. Para um departamento de águas subterrâneas com uma equipa relativamente pequena a trabalhar com dados limitados e pessoal a ter de trabalhar em tarefas diferentes, pode ser necessária uma solução de software diferente do que para um departamento grande com muito pessoal dedicado, gerindo grandes quantidades de dados.

8.4 Visar o Público Certo

Uma vez produzida a informação apropriada, os departamentos de águas subterrâneas devem encontrar uma forma de chegar aos intervenientes visados com essa informação. Na Figura 8.2, Van der Gun (2018) agrupa as partes interessadas em três categorias: decisores, profissionais e planificadores de águas subterrâneas, e partes interessadas locais em águas subterrâneas, tais como agricultores ou proprietários de poços privados e o público em geral, e apresenta diferentes formatos de partilha de informação para melhor servir as diferentes partes interessadas.



Fonte: van der Gun (2018)

Figura 8.2 Formas seleccionadas de apresentação de dados e informações sobre águas subterrâneas para utilizadores específicos

8.5 Reavaliação e Melhoria da Recolha e Gestão dos Dados

É muito provável que sejam identificadas lacunas ou deficiências na recolha de dados e no programa de gestão de dados ao interpretar os dados. Poderão ser necessários dados adicionais que exijam a actualização de partes do programa. É igualmente possível que sejam recolhidos mais dados do que os necessários, o que não é rentável. Também aqui, o programa poderia ser revisto e optimizado. É importante que o pessoal envolvido na interpretação dos dados sobre águas subterrâneas forneça feedback aos responsáveis pela recolha de dados sobre águas subterrâneas, para tornar este processo mais eficiente.

A produção de informação relevante fornece justificação aos decisores para aumentar os orçamentos para a recolha e gestão dos dados relativos às águas subterrâneas. Os decisores serão mais facilmente convencidos a investir mais em programas de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas se Virem os resultados dos seus investimentos como se mostra na caricatura da Figura 8.3. Por conseguinte, mesmo as organizações que sofrem de graves carências orçamentais deveriam tentar o seu melhor para transformar os dados em informação e partilhá-los.

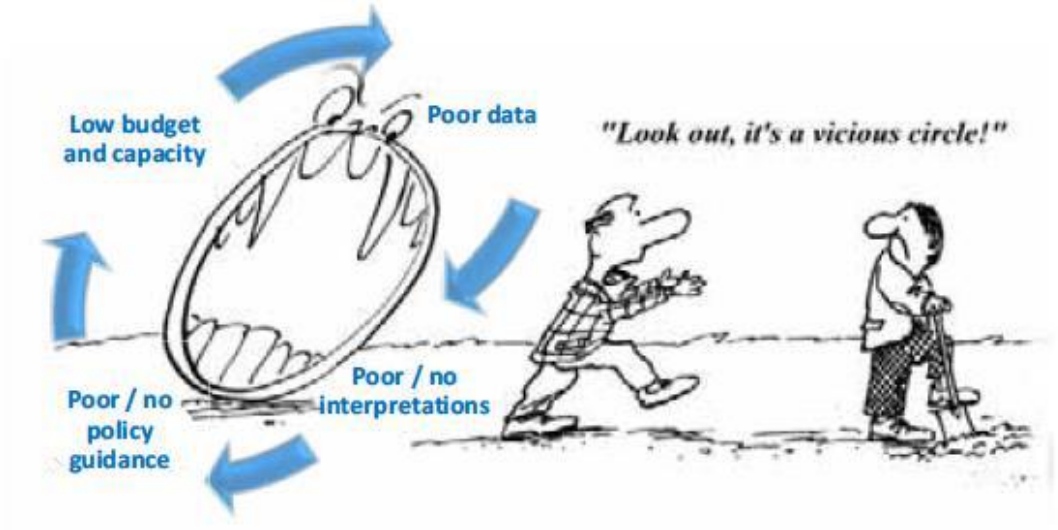


Figura 8.3 Círculo vicioso na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas

8.6 Mensagens Principais

- **Os dados precisam de ser transformados em informação para comunicar mensagens-chave aos interessados e para desenvolver intervenções baseadas em factos**
- **As diferentes partes interessadas exigem que a informação seja apresentada de forma diferente;**
- **Os dados precisam de ser transformados em informação para demonstrar a utilidade dos dados para os interessados envolvidos na recolha de dados sobre águas subterrâneas; e**
- **A análise e interpretação de dados ajuda a identificar lacunas de dados e questões de qualidade de dados que podem levar a uma reavaliação das necessidades de dados e procedimentos de recolha de dados.**

9 PLANEAMENTO ORÇAMENTAL

9.1 Introdução

Muitos componentes da recolha e gestão de dados descritos no Quadro da SADC para a recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas podem ser feitos dentro dos departamentos responsáveis pela recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas. Em casos de falta de capacidade, podem ser contratados peritos profissionais externos. Por conseguinte, é importante ter em conta os vários custos associados às actividades de recolha e gestão de dados. Este capítulo fornece uma visão geral dos componentes de custos associados às actividades de recolha e gestão de dados. Não apresenta custos para cada actividade, uma vez que estes variam por Estado Membro da SADC, e dependem também da escala do projecto, da geografia, da topografia e do contexto hidrogeológico. A última secção do capítulo fornece sugestões para o financiamento da recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas.

Os custos relacionados com a recolha e gestão de dados devem ser tidos em conta durante o processo de planeamento.

9.2 Perfuração,Testes e Furos de Sondagem

9.2.1 Furos de Sondagem

Furos de sondagem são feitos através de levantamento geofísico de superfície. A colocação de furos privados para fins domésticos pode, no entanto, ser feita com base numa inspecção visual do local. Dependendo da configuração, os custos de colocação podem ser fixados por furos únicos ou múltiplos. No caso de furos múltiplos, um levantamento geofísico maior pode ser executado de uma só vez. Os custos variam em função do método geofísico e da escala do levantamento. Tipicamente, um levantamento magnético de superfície com um magnetómetro será mais barato que uma tomografia de resistividade ou um levantamento electromagnético. Embora a utilização de múltiplos métodos como técnicas complementares seja encorajada para melhorar a compreensão do subsolo, aumentando assim as hipóteses de sucesso, também tem um custo adicional.

Os principais componentes de custo são a mão-de-obra, a logística relacionada com o trabalho de campo, bem como os custos de análise de dados que dependerão da escala do

levantamento e dos métodos utilizados. Os custos do equipamento podem incluir compra, aluguer ou depreciação. Os principais custos do levantamento geofísico para a localização de um alvo de perfuração estão listados na Tabela 9.1. Durante o planeamento, todos estes custos devem ser componentes fixos.

Tabela 9.1 Aspectos principais a considerar ao calcular os custos de levantamento geofísico para furos de sondagem

Actividades	Unidade típica de cálculo de custos
Estudo de ambiente de trabalho	• Honorários profissionais (por hora ou por dia) • Custos de aquisição de dados (mapas, dados/estudos pré-existentes))
Visita/passagem/planeamento do sítio	• Honorários profissionais (por hora ou por dia)
Levantamento geofísico de campo	• Custo por furo/Custos por unidade de duração do inquérito/Custos por projecto (dependendo da configuração) • Custos de equipamento (normalmente por dia)
Logística (custos para veículo, combustível, subsídios de campo.) para visita ao local e inquérito de campo	• Custos por quilómetro • Custos por membro do pessoal por dia
Análise de dados, relatórios e entrega de dados*	• Honorários profissionais (por hora ou por dia) • Custos de impressão ou consumíveis

* A transferência de dados é crucial para a construção de uma base de dados de águas subterrâneas, e deve ser especificamente solicitada (e orçamentada) para receber todos os dados relevantes (Ver capítulo 3) em formatos que possam ser processados.

9.2.2 Furos de sondagem

A perfuração de furos engloba a perfuração propriamente dita, a construção e o desenvolvimento de furos. Os custos relacionados com o equipamento de um furo com uma bomba estão excluídos, uma vez que isso está para além do âmbito deste Quadro. A tabela 9.2 fornece uma visão geral dos custos típicos. Os custos fixos são acordados antes da perfuração, enquanto que os custos variáveis são finalizados após a perfuração.

Tabela 9.2 Aspectos principais a considerar ao calcular os custos da perfuração de um furo

Actividade	Unidade de cálculo de custos	Tipo de custo
Estabelecimento do sítio	Por local/furo	Fixo
Perfuração	Por metro de perfuração	Variável
Mandrilagem	Por metro de perfuração	Variável
Invólucro sólido	Por metro	Variável
Caixa blindada	Por metro	Variável
Cascalho/extracto	Por quilograma	Variável
Desenvolvendo	Por hora de desenvolvimento	Variável
Selo sanitário/bentonite	Por metro	Fixo
Almofada de furo	Por furo	Fixo
Recolha de dados profissionais (Registo litológico de furos, medições de rendimento intermitentes, projectos finais como furos de construção, monitorização da qualidade da água no campo, monitorização do nível da água durante a perfuração)	Por metro ou taxa profissional (por hora ou dia)	Variável
Equipamento de campo (medidores de nível de água, V- entalhes, medidores de qualidade da água do campo, lentes de mão)	Por equipamento	Fixo
Logística (custos para veículo, combustível, subsídios de campo, etc.)	Por quilómetro percorrido Por membro do pessoal por dia	Fixo
Análise de dados, relatórios e dados entrega*	Taxa/hora profissional	Fixo

* A transferência de dados é crucial para a construção de uma base de dados de águas subterrâneas, e deve ser especificamente solicitada (e orçamentada) para receber todos os dados relevantes (Ver Capítulo 3) em formatos que possam ser processados.

9.2.3 Testagem de furo

Os testes de perfuração referem-se a testes de estimativa de rendimento de perfuração, avaliação do desempenho da perfuração e estimativa dos parâmetros do aquífero. Os principais custos a ter em conta estão associados ao estabelecimento do local e às horas de teste. Para o teste de tracção por fases e o teste de descarga de taxa constante, o tipo de custo é considerado fixo ou variável, uma vez que pode variar de um fornecedor para outro. Por exemplo, alguns têm preços fixos padrão para testes de 24 horas ou 72 horas. É mais importante para o departamento responsável compreender o objectivo dos testes e a duração necessária para que negociem com o fornecedor. A tabela 9.3 mostra os principais aspectos a considerar ao calcular os custos dos testes de furo.

Tabela 9.3 Aspectos principais a considerar ao calcular os custos para os testes de perfuração

Actividade	Unidade de cálculo de custos	Tipo de custo
Estabelecimento do sítio	Por local/furo	Fixo
Teste de tracção por etapas	Por unidade ou por hora e a taxa de bombeamento)	Fixo ou variável
Teste de descarga de taxa constante	Por unidade ou por hora e a taxa de bombeamento)	Fixo ou variável
Recolha de dados - supervisão (níveis de água, monitorização da qualidade, rendimentos, instalação)	Honorários profissionais (por hora ou por dia)	Variável
Logística (custos para veículo, combustível, subsídios de campo, etc.)	Por quilómetro percorrido Por membro do pessoal por dia	Fixo
Análise de dados, relatórios e entrega de dados*	Taxa/hora profissional	Fixo

* A transferência de dados é crucial para a construção de uma base de dados de águas subterrâneas, e deve ser especificamente solicitada (e orçamentada) para receber todos os dados relevantes (Ver Capítulo 3) em formatos que possam ser processados.

9.3 Monitorização das águas subterrâneas

A secção 4.3.3 referiu-se a alguns dos aspectos dos custos relacionados com o desenvolvimento de um programa de monitorização das águas subterrâneas. Estes podem ser divididos nas seguintes componentes de custo:

1) Concepção da rede (investimento único);
2) Estabelecimento da rede (investimento único);
3) Monitorização e manutenção (custos recorrentes anuais); e
4) Avaliação de redes (investimento periódico, por exemplo, de 5 em 5 anos)

(IGRAC (2008) fornece panorâmicas detalhadas das diferentes componentes de custo relacionadas com o desenvolvimento e implementação de um programa de monitorização das águas subterrâneas (Ver IGRAC 2008, secções 3.6, capítulo 8 e Anexo F). Esta secção fornece um resumo das componentes de custo.

A Tabela 9.4 fornece um exemplo com três opções de custos para o estabelecimento de uma rede de monitorização utilizando furos existentes, novos furos, estações de medição de descarga e registadores. Para além dos custos enumerados no quadro, o investimento, uma vez desligado, em equipamento de monitorização também deve ser incluído (mergulhadores de nível de água, registadores de dados, medidores CE, bombas de amostragem, etc.)

A monitorização das águas subterrâneas deve ser feita utilizando as ferramentas certas

Tabela 9.4 Exemplo de tabela para o cálculo dos investimentos para diferentes opções de programas de monitorização

	Custo unitário	Opção 1		Opção 2		Opção 3	
		Número	Custo total	Number	Custo total	Number	Custo total
Actualização de poços existentes		n1		n2		n3	
Limpeza, testes, pequenas reparações, torneiras de amostras	x		x		x		x
Protecção do local (base de betão, tampa, aventais, etc.)	x		x		x		x
Custos administrativos	x		x		x		x
Instalação de novos poços		m1		m2		m3	
Perfuração - classe de profundidade 1	x		x		x		x
Perfuração - classe de profundidade 2	x		x		x		x
Instalação de poços - classe de profundidade1	x		x		x		x
Instalação de poços - classe de profundidade2	x		x		x		x
Limpeza e desenvolvimento	x		x		x		x
Protecção do local (base de betão, tampa, aventais, etc.)	x		x		x		x
Custos administrativos	x		x		x		x
Estações de medição de descarga (apenas se relevante)		p1		p2		p3	
Instalação	x		x		x		x
Protecção do sítio	x		x		x		x
Custos administrativos	x		x		x		x
Gravadores (apenas se relevante)	x	q1	x	q2	x	q3	x
Investimentos totais			X		Y		Z

n, m, p e q: número de unidades envolvidas

Source: IGRAC, (2008)

Os custos anuais de monitorização e manutenção (Quadro 9.5) podem ser divididos em custos para:
Equipamento (incluindo substituição e manutenção;
Medições (incluindo salários, despesas de viagem; e
Gestão de dados (incluindo salários, custos de escritório.

Os custos anuais para substituição de equipamento podem ser calculados dividindo os investimentos para substituição pela duração de vida prevista. Para um furo de monitorização bem protegido, o tempo de vida útil pode variar entre 25 e 50 anos, enquanto que para a maioria do equipamento de monitorização o tempo de vida útil será mais curto e mais na ordem dos 2 - 10 anos.
As considerações sobre os custos das medições (amostragem de águas subterrâneas, medições do nível das águas subterrâneas e monitorização das captações) são fornecidas nas secções seguintes.

Tabela 9.5 Exemplo de tabela para o cálculo dos custos anuais de diferentes opções de programas de monitorização

	Custo unitário	Opção 1		Opção 2		Opção 3	
		Número	Custo total	Number	Total cost	Número	Custo total
Custos anuais de substituição e reparações							
Poços de monitorização	x	m1	x	m2	x	m3	x
Estações de medição de descarga (se relevante)	x	n1	x	n2	x	n3	x
Equipamento de medição (fitas adesivas, gravadores, etc.)	x	p1	x	p2	x	p3	x
Outros							
Custos anuais da recolha de dados e análise							
Medições do nível das águas subterrâneas *	x	q1	x	q2	x	q3	x
Amostragem da qualidade das águas subterrâneas *	x	r1	x	r2	x	r3	x
Análise laboratorial *	x	s1	x	s2	x	s3	x
Medidas de descarga *	x	t1	x	t2	x	t3	x
Custos anuais de gestão de dados							
Medições do nível das águas subterrâneas	x	u1	x	u2	x	u3	x
Amostragem da qualidade das águas subterrâneas	x	v1	x	v2	x	v3	x
Análise laboratorial	x	w1	x	w2	x	w3	x
Custos anuais de escritório			x		x		x
Custos totais anuais			X		Y		Z

* Os custos unitários devem incluir a frequência da observação, os custos de viagem, etc.

Fonte: IGRAC (2008)

9.3.1 Amostragem de águas subterrâneas

Os principais custos associados à amostragem de águas subterrâneas são os relacionados com a logística (viagem para o campo), tempo de pessoal e custo de laboratório. Se as amostras forem recolhidas através de purga, então o custo da bombagem também precisa de ser considerado o tempo de pessoal vai aumentar. Por conseguinte, é importante que os departamentos de águas subterrâneas determinem as formas apropriadas de recolha de amostras representativas, uma vez que isto terá enormes implicações na amostragem e nos custos.

O custo da análise laboratorial varia em função do tipo e dos parâmetros analisados. Por exemplo, o custo da análise dos parâmetros da química orgânica e da química inorgânica será

diferente.

Tabela 9.6 Aspectos principais a considerar ao calcular os custos da amostragem de águas subterrâneas

Actividade	Unidade de cálculo de custos	Tipo de custo
Logística (custos para veículo, combustível, subsídios de campo, etc.)	Por quilómetro percorrido Por membro do pessoal por dia	Fixo
Recolha de amostras no campo, incluindo purga	Taxa/hora profissional	Variável ou fixo
Equipamento	Custos por item (substituição), Custos de manutenção e reparação por item	Variável
Consumíveis (garrafas de amostras, kits de teste de campo, etc.)	Por artigo (os custos podem ser cobertos por qualquer um dos artigos)	Fixo
Entrega de amostras ao laboratório	Por distância	Fixo
Análise laboratorial	Por amostra/tipo de análise e ou parâmetro	Fixo
Análise de dados, relatórios e entrega de dados* \Por quilómetro percorrido Por membro do pessoal por dia	Taxa/hora profissional	Fixo

* A transferência de dados é crucial para a construção de uma base de dados de águas subterrâneas, e deve ser especificamente solicitada (e orçamentada) para receber todos os dados relevantes (Ver capítulo 3) em formato processável

Por conseguinte, é importante que os departamentos estabeleçam parâmetros que são vitais para o seu programa de monitorização, uma vez que isto tem implicações em termos de custos. Alguns destes aspectos têm sido discutidos no capítulo 4. A Tabela 9.6 mostra os principais aspectos a considerar ao calcular os custos da amostragem das águas subterrâneas.

9.3.2 Monitorização do Nível das Águas Subterrâneas

As medições do nível das águas subterrâneas podem ser medidas manualmente ou através de sistemas parcial ou totalmente automatizados. Na secção 4.3.2 são discutidas as vantagens da concepção de um programa de monitorização de registadores de dados e da transferência de dados via telemetria. A escolha sobre a utilização de mergulhadores manuais de águas subterrâneas ou registadores de dados possivelmente em combinação com telemetria não é simplesmente financeira, como foi discutido no Capítulo 4. Seja qual for a escolha, há sempre necessidade de visitas ao local para calibrar os registadores de dados com base em medições manuais, para verificar o equipamento, substituir baterias e possivelmente descarregar os dados dos registadores de dados.

Tabela 9.7 Aspectos principais a considerar ao calcular os custos da monitorização do nível das águas subterrâneas

Actividade	Unidade de cálculo de custos	Tipo de custo
Logística (custos para veículo, combustível, subsídios de campo, etc.)	Por quilómetro percorrido Por membro do pessoal por dia	Fixo
Equipmento: • Urtigas manuais • Fita métrica • Registadores de dados • Transmissores de dados telemétricos • GPS de mão, etc.	Custos por item (substituição), Custos de manutenção e reparação por item	Variável
Recolha de medidas em campo	Taxa profissional (por hora ou dia)	Fixo
Análise de dados, relatórios e entrega de dados*	Taxa profissional (por hora ou dia)	Fixo

* A transferência de dados é crucial para a construção de uma base de dados de águas subterrâneas, e deve ser especificamente solicitada (e orçamentada) para receber todos os dados relevantes (ver capítulo 3) em formatos que possam ser processados.

9.3.3 Monitorização da Utilização de Águas Subterrâneas

A monitorização da utilização de águas subterrâneas é essencial, uma vez que permite a determinação da quantidade abstraída ao longo do tempo. A utilização das águas subterrâneas é determinada com base nos volumes captados. Em geral, os volumes de captação das águas subterrâneas podem ser determinados através de medições directas ou estimados através de abordagens indirectas. No entanto, as medições directas são a única forma precisa para fins regulamentares.

Existem duas abordagens principais para a instalação de contadores de água:

1) A instalação de um contador de água é uma condição sob a licença de utilização de água. Os proprietários de furos (ou detentores da licença de utilização de água) são obrigados a instalar um dispositivo de medição de água aprovado em todos os pontos de furo para medir o volume de água subterrânea bombeada. Os custos de aquisição, instalação e manutenção são para o proprietário do furo; e
2) A instalação de contadores de água é estimulada pelos departamentos responsáveis, quer subsidiando os custos, quer para cuidar da instalação dos contadores de água. Nesse caso, é importante fazer acordos claros e inequívocos sobre manutenção e propriedade.

A tabela seguinte fornece um resumo dos aspectos a ter em conta quando se efectuam os custos de monitorização da utilização de águas subterrâneas.

Tabela 9.8 Aspectos principais a considerar na determinação de custos para a monitorização da utilização de águas subterrâneas

Actividade	Responsabilidade de custos	Unidade de cálculo de custos	Tipo de custo
Compra de dispositivo contador de água	Utilizador de águas subterrâneas*	Por dispositivo	Fixo
Instalação	Utilizador de águas subterrâneas*	Por dispositivo instalado	Fixo
Manutenção do dispositivo	Utilizador de águas subterrâneas*	Por dispositivo	Variável
Verificação da instalação	Departamento	Por local e distância percorrida (custos para logística e horas-homem)	Fixo
Submissão de dados	Utilizador de águas subterrâneas	Por conjunto de dados	Fixo
Inspecção	Departamento	Por local e distância viajado (custos de logística e horas-homem)	Variável

* Dependendo da configuração, isto também pode ser da responsabilidade do departamento

9.4 Gestão de Dados

A gestão de dados implica todos os processos de tratamento de dados depois de os dados serem recebidos dos técnicos de campo ou do laboratório. Os custos de gestão de dados dependem do tamanho esperado dos conjuntos de dados e dos requisitos do departamento. Os custos estão relacionados com custos de pessoal, hardware e software.

Os custos de pessoal estão relacionados com responsabilidades, tais como:

- Ligação com fornecedores de dados (fornecimento de números de identificação de furos, recepção de dados, feed back após controlo de qualidade, etc.);
- Introdução de dados;
- Verificação da qualidade dos dados;
- Administração e gestão de bases de dados; e
- Apoio informático.

Como explicado no Capítulo 6, os dados podem ser armazenados em folhas de cálculo ou em bases de dados completas baseadas em servidores de acesso multiutilizador. Numa

configuração simples, com quantidades limitadas de dados, onde são utilizadas folhas de cálculo, ou soluções de base de dados de ficheiro único, as bases de dados podem ser facilmente armazenadas quer numa unidade de rede, e podem ser feitas cópias de segurança na nuvem mantendo o custo reduzido a um contrato com um serviço de armazenamento na nuvem (Ver Tabela 9.9).

Tabela 9.9 Custo incorrido usando uma única opção de armazenamento de dados em ficheiro

Item/Actividade	Responsabilidade de custos	Unidade de cálculo de custos	Tipo de custo
Software para armazenamento de dados (folhas de cálculo)	Departmento	Por dispositivo	Fixo por ano, ou uma vez, dependendo da licença*
Backup de dados na nuvem	Departmento	Por assinatura ou contrato	Fixo por ano

* Grátis ao utilizar freeware como o OpenCalc

As bases de dados maiores, baseadas em servidores, são de preferência armazenadas localmente em servidores e bancos de armazenamento de dados no departamento. Exige hardware informático e infra-estruturas dedicadas, tais como habitações climatizadas com uma fonte de alimentação ininterrupta (UPS) e alimentação de emergência quando a rede nacional falha. Para reduzir a possível perda de dados, as cópias de segurança devem ser efectuadas diariamente e armazenadas fora do local. As bases de dados maiores também necessitam de um front-end, ou interface de utilizador, para permitir aos operadores de dados interagir com a base de dados. As interfaces de utilizador são quase sempre feitas à medida e necessitam de pessoal dedicado ao seu desenvolvimento e manutenção. Ao desenvolver o acesso baseado na web para utilizadores fora da organização, devem existir firewalls e outras medidas de segurança para proteger os dados armazenados (Tabela 9.10).

Tabela 9.10 Custos incorridos com a utilização de uma opção de armazenamento de dados do servidor SQL

Item/actividade	Responsabilidade de custos	Unidade de cálculo de custos	Tipo de custo
Armazém (sala do servidor)	Departamento	Uma vez	Fixo
Hardware (servidor)	Departamento	Por item	Fixo
Bancos de armazenamento de dados	Departamento	Por item	Fixo
Fornecimento ininterrupto de energia	Departamento	Por item	Fixo
Sistema extintor de incêndios	Departamento	Por item	Fixo
Alimentação eléctrica de emergência (Gerador)	Departamento	Por item + custo de funcionamento /hora	Fixo
Rede de alta velocidade ligações	Departamento	Por velocidade da rede e	Fixo
Instalação de apoio (fora do local)	Departamento	largura de banda	Fixo
Software de base de dados	Departamento	Por assinatura ou contrato	Fixo
Administração de bases de dados	Departamento	Por número de lugares (utilizadores)	Fixo
Front-end da base de dados desenvolvimento	Departamento	Taxa/hora profissional	Fixo
Hardware (estações de trabalho)	Departamento	Taxa/hora profissional	Fixo

É de notar que a maioria dos artigos necessita de manutenção anual que precisa de ser orçamentada para

9.5 Iniciativas de angariação de fundos

A recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas são exercícios contínuos com custos associados consideráveis que requerem planos de financiamento sustentáveis para continuar a funcionar. Em muitos países há necessidade de reorientar as finanças, alinhando o financiamento público com as prioridades políticas (por exemplo, recuperação dos custos das intervenções de gestão), e de desenvolver novos incentivos financeiros para encorajar o empenho privado na gestão sustentável das águas subterrâneas. Dado o valor das águas subterrâneas para a economia e a sociedade, deve ser assegurado um financiamento suficiente e regular para as funções básicas da governação das águas subterrâneas, incluindo monitorização, administração, regulação, reforço de capacidades e inovação (van der Gun e Custidio, 2018).

Nesta secção, destacamos algumas das opções disponíveis para os departamentos de águas subterrâneas para financiar as actividades de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas.

- **Orçamento nacional**

  As actividades relacionadas com os dados das águas subterrâneas podem ser financiadas através das dotações orçamentais regulares para o departamento e ministério responsáveis. O risco deste mecanismo de financiamento é que o orçamento para as actividades relacionadas com os dados das águas subterrâneas precise de ser assegurado em cada ciclo orçamental e corre-se o risco de ser cortado quando existem outras prioridades, enquanto que as actividades de recolha de dados sobre águas subterrâneas são actividades em curso a longo prazo que requerem um orçamento a longo prazo.

- **Imposto dedicado às águas subterrâneas**

  Uma forma alternativa de financiar actividades de dados sobre águas subterrâneas é através de um imposto dedicado às águas subterrâneas. Na Holanda, por exemplo, a lei nacional da água permite aos Governos Provinciais que têm um papel importante na gestão estratégica das águas subterrâneas e na monitorização dos recursos hídricos subterrâneos, emitir um imposto sobre a utilização das águas subterrâneas. A Lei Nacional da Água (Governo dos Países Baixos, 2009) determina que as receitas do imposto sobre

águas subterrâneas estão disponíveis para essa província específica e só podem ser utilizadas para cobrir os custos associados:

- Medidas directamente relacionadas com a prevenção dos efeitos negativos da captação de águas subterrâneas e da infiltração de água em aquíferos (isto inclui a investigação necessária para o desenvolvimento de políticas, e a monitorização das águas subterrâneas);
- A manutenção de um registo de todas as captações e infiltrações de águas subterrâneas; e
- Compensações financeiras relacionadas com danos resultantes de captações de águas subterrâneas licenciadas.

O benefício directo de tal imposto dedicado com oportunidades limitadas de despesa é que o orçamento para actividades específicas relacionadas com as águas subterrâneas é assegurado. O benefício adicional é que o instituto responsável pela gestão das águas subterrâneas é aquele que pode estabelecer o nível de impostos (preço por m3 de água subterrânea captada) e que as receitas fiscais aumentam à medida que as captações de águas subterrâneas (e as actividades de gestão necessárias aumentam). O sucesso de um tal imposto vem com a aplicação adequada da lei, incluindo um sistema funcional de registo das captações de águas subterrâneas e relatórios regulares (anuais ou trimestrais) sobre a utilização das águas subterrâneas.

- **Taxas de recuperação de custos**

  Alternativa à tributação baseada na utilização de águas subterrâneas, é também possível gerar rendimentos com base em taxas de recuperação de custos. Podem ser taxas para o registo e licenciamento da perfuração de furos e/ou para a captação de águas subterrâneas. Pode também ser cobrada uma taxa com base na recuperação de custos pelo fornecimento de dados a partir das bases de dados de águas subterrâneas.

- **Condições de licenciamento**

  Através de condições de licenciamento, os titulares de uma licença de perfuração ou de uma licença de captação de águas subterrâneas podem ser responsabilizados pela recolha e fornecimento de dados ao departamento responsável. Isto não gera qualquer orçamento mas, se for aplicado, é uma forma de garantir que os interessados também contribuem para a recolha de dados relevantes às suas próprias custas.

- **Financiamento externo**

  Não é raro na região da SADC que actividades relacionadas com a recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas tenham sido / estejam a ser financiadas através de organizações doadoras internacionais. Para iniciar novas actividades e para cobrir os custos dos investimentos iniciais, esta pode ser uma fonte de financiamento adequada. Mas a experiência tem demonstrado que, uma vez feito o investimento inicial e esgotados os orçamentos dos projectos, o orçamento é muitas vezes insuficiente para a continuação das actividades de recolha de dados. Por conseguinte, e para evitar a perda de investimentos, é da maior importância que qualquer programa de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas financiado externamente garanta a continuação do financiamento para a gestão e manutenção através de recursos nacionais.

9.6 Mensagens Principais

- **Os departamentos de águas subterrâneas devem compreender os vários custos envolvidos na recolha de dados e nas actividades de gestão de dados.**
- **O financiamento de actividades de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas pode ser obtido de diferentes formas. O financiamento externo pode ser adequado para investimentos iniciais, mas o orçamento para a gestão e manutenção contínuas deve provir, tanto quanto possível, de recursos financeiros nacionais.**

10 ASPECTOS INSTITUCIONAIS NACIONAIS E TRANSFRONTEIRIÇOS

10.1 Introdução

O envolvimento de várias organizações na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas exige uma definição clara de responsabilidades, para garantir que todos os aspectos são tratados e para minimizar sobreposições e duplicação de esforços. O capítulo discute aspectos institucionais da recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas a nível nacional e transfronteiriço.

10.2 Divisão de funções a nível nacional

É necessário ter uma imagem clara dos intervenientes envolvidos na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas em cada Estado-Membro para compreender quem está a fazer o quê. Podem existir vários intervenientes, tais como departamentos nacionais (por vezes em diferentes ministérios), organizações de utilizadores de água, empresas de abastecimento de água e ONG, actuando a nível nacional, provincial, distrital ou municipal. É necessária uma distribuição clara de funções para recolher e gerir eficientemente os dados relativos às águas subterrâneas. Uma análise dos intervenientes envolvidos na recolha e gestão dos dados sobre águas subterrâneas identificará se todas as actividades estão devidamente atribuídas e permitirá uma gestão eficiente de todos os recursos de águas subterrâneas. Identificará também qualquer sobreposição nas actividades das partes interessadas. Poderá haver discrepâncias entre o que os interessados devem fazer, de acordo com os seus mandatos, e o que efectivamente fazem na prática. Com base nesta análise recomendada, os Estados Membros podem atribuir ou reatribuir a responsabilidade pela recolha e gestão dos dados relativos às águas subterrâneas aos intervenientes relevantes. As responsabilidades devem ser escritas nos mandatos das organizações e nos documentos políticos oficiais.

Peritos em águas subterrâneas da SADC num workshop da SADC-GMI sobre gestão de aquíferos transfronteiriços

Como parte do projecto Política, Desenvolvimento Legal e Institucional para a Gestão das Águas Subterrâneas nos Estados Membros da SADC, foi feita uma triagem completa das instituições envolvidas na gestão das águas subterrâneas para toda a região da SADC e para o seguinte Estado Membro da SADC: Angola, Botswana, eSwatini, Lesoto, Malawi, Moçambique, Namíbia, Seicheles, África do Sul, Tanzânia, Zâmbia e Zimbabué (Instituto de Gestão das Águas Subterrâneas da SADC, 2019).

O IGRAC (2008) fornece uma lista de como as responsabilidades de monitorização das águas subterrâneas são normalmente divididas:

- **Primário - monitorização de referência**

"A responsabilidade pela monitorização das águas subterrâneas de base pode recair a nível nacional, estatal, distrital ou municipal. Contudo, em caso de monitorização da qualidade da água das fontes de água potável (água da torneira, água/bebidas engarrafadas, leite) a responsabilidade é geralmente das empresas que as fornecem. Muitas vezes as empresas de abastecimento de água têm também poços de monitorização na área de captação dos poços de captação, a fim de poderem evitar o fornecimento de recursos hídricos poluídos e são obrigadas a submeter os seus dados de monitorização a instituições que têm o dever de os supervisionar".

- **Protecção e controlo de conformidade**
  Relativamente ao controlo dos locais de eliminação de resíduos, efluentes e fugas das linhas de esgotos e estações de tratamento de águas residuais, minas, barragens de rejeitos, refinarias, instalações de armazenamento e processamento de substâncias químicas e perigosas, etc., a responsabilidade pode ser a nível nacional/estatal (e ser paga pelo operador) ou pode ser do próprio operador, que tem então o dever de fornecer os dados".
- **Monitorização da contenção da poluição**
  O controlo dos derrames é normalmente ordenado (e conduzido) por uma instituição governamental e deve ser pago pelo poluidor (se o princípio do poluidor-pagador estiver em vigor). Nos casos em que a contaminação é generalizada e não pode ser atribuída a uma única fonte, como a agricultura, indústria, urbanização, tráfego ou fontes de águas superficiais contaminadas, a monitorização terá de ser conduzida e paga pelo governo. A monitorização da intrusão de água salgada pode fazer parte da responsabilidade do governo ou, se puder ser atribuída à sobreabstracção por parte de um único utilizador, ser da responsabilidade destes utilizadores".

Como parte da monitorização das águas subterrâneas, a recolha de dados sobre furos de sondagem, perfurações e testes também deve ser claramente atribuída. Como foi salientado no Capítulo 3, a recolha de dados pode ser um desafio porque não são medidos directamente pelos departamentos de águas subterrâneas. É necessário que os departamentos disponham dos meios (legais) para fazer cumprir a recolha de dados de todos os interessados.

As actividades de gestão das águas subterrâneas (ou seja, armazenamento de dados, partilha e interpretação de dados) devem também ser explicitamente atribuídas. Deve ser claro onde os dados devem ser armazenados, quem pode aceder aos dados, como, e com que finalidade. Estas questões podem ser facilmente resolvidas (por exemplo, todos os dados estão numa única base de dados e disponíveis em "acesso aberto") ou requerem arranjos e protocolos mais complicados.

O IGRAC (2008) faz algumas recomendações para atribuir as responsabilidades de recolha e gestão dos dados relativos às águas subterrâneas. Sugere que a monitorização das águas subterrâneas seja organizada ao mesmo nível em que as águas subterrâneas são geridas e protegidas. Se os recursos de águas subterrâneas e os sectores relacionados com as águas subterrâneas, tais como o uso do solo e o ambiente, forem geridos a nível nacional, a recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas deverá ser organizada a nível nacional. Algumas tarefas podem ser delegadas, mas as responsabilidades e orçamentos associados devem ser a esse nível.

A gestão das águas subterrâneas é efectivamente levada a cabo seguindo unidades hidrogeológicas (ou seja aquíferos) ou unidades de captação de águas superficiais, e não fronteiras administrativas. Tendo isso em mente, é melhor organizar também a recolha e a gestão dos dados das águas subterrâneas seguindo unidades hidrogeológicas ou unidades de captação de águas de superfície.

As organizações encarregadas da recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas devem ter autoridade suficiente para recolher dados de outras partes interessadas. Como já foi

salientado no Capítulo 7, a partilha de dados sobre águas subterrâneas entre os interessados deve ser legalmente aplicada, e não depender da boa vontade dos indivíduos. Este deve ser todo o processo de recolha e gestão dos dados relativos às águas subterrâneas.

10.3 Disposições Transfronteiriças e Internacionais

A gestão de aquíferos transfronteiriços exige que os países que partilham os recursos de águas subterrâneas tenham um entendimento comum dos recursos de águas subterrâneas partilhados. Isto requer alguma forma de avaliação conjunta e um programa transfronteiriço específico de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas. Tal programa pode ser implementado num processo de 3 etapas.

1) O primeiro passo é recolher os dados já disponíveis nos países, harmonizar os dados e fundi-los em conjuntos de dados comuns (IGRAC, UNESCO-IHP, 2015). Os conjuntos de dados comuns podem então ser interpretados e produzir uma primeira avaliação dos recursos aquíferos transfronteiriços. Este será um exercício pontual, fornecendo informações sobre o sistema de águas subterrâneas (por exemplo, hidrogeológica, ambiental e sócio-económica), bem como sobre o estado e tendências dos recursos de águas subterrâneas nesse momento. Este ainda não é um programa de recolha e gestão de dados transfronteiriços, uma vez que os dados não são continuamente actualizados e processados. Tal programa é necessário para definir estratégias de gestão adequadas.
2) Numa segunda fase, os países devem organizar a actualização regular de conjuntos de dados transfronteiriços, sendo os dados recolhidos de ambos os lados da fronteira (ou seja, furos de sondagem, perfuração e dados de teste e dados de monitorização). O Capítulo 7 fornece orientações sobre como organizar a partilha de dados entre os países. A harmonização dos dados antes de cada actualização do conjunto de dados transfronteiriços pode tornar-se um fardo. Em vez disso, recomenda-se que os países harmonizem a forma como recolhem e armazenam os dados sobre águas subterrâneas, de modo a que os dados recolhidos sejam formatados da mesma forma e possam introduzir directamente o conjunto de dados transfronteiriços. Chegar a acordo sobre normas para a recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas pode ser um desafio, mas facilitará muito a actualização dos conjuntos de dados transfronteiriços e a cooperação transfronteiriça. Os conjuntos de dados transfronteiriços regularmente actualizados devem ser processados em informação relevante e, em última análise, em estratégias de gestão adequadas (Capítulo 8). Durante este processo, as lacunas de dados poderão ser destacadas, tais como pontos de monitorização insuficientes, frequência de monitorização ou parâmetros de monitorização.
3) Numa última fase, os países poderiam empenhar-se no desenvolvimento futuro dos seus programa de monitorização transfronteiriça, com por exemplo o aumento da frequência de monitorização ou a criação de novos furos de monitorização. Requer orçamentos e capacidades adicionais dos países e um esforço conjunto na concepção de um programa de monitorização que corresponda aos objectivos (e não "simplesmente" reutiliza os dados que estão a ser recolhidos para outros programas de monitorização).

A AFD (2011) e a Task Force da UNECE sobre Monitorização e Avaliação (2000) propõem uma abordagem metodológica para alcançar um tal programa conjunto de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas. Tal como a nível nacional, a recolha e gestão de dados transfronteiriços requerem uma clara atribuição de responsabilidades, entre os países e dentro dos países. A cooperação transfronteiriça a longo prazo requer algum grau de formalização. Pode ser um memorando de entendimento, um plano de acção conjunta ou um tratado, especificando os objectivos e as actividades a realizar sobre o aquífero transfronteiriço. Tais acordos são promovidos através de iniciativas internacionais tais como a Resolução sobre a Lei de Aquíferos Transfronteiriços adoptada pela Assembleia Geral das Nações Unidas (Nações Unidas, 2008) e a Política Regional da Água da SADC (SADC, 2005).

Normalmente, os acordos deste tipo são assinados a nível nacional. Como tal, os departamentos nacionais de águas subterrâneas serão normalmente os principais interessados nos programas transfronteiriços, coordenando os esforços entre os interessados no seu próprio país (IGRAC, UNESCO-IHP 2015). Normalmente fornecem pessoal e orçamento ao organismo conjunto, o grupo de trabalho responsável pelas actividades transfronteiriças dos aquíferos (incluindo o programa de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas). Para o sucesso dos programas transfronteiriços, é importante que os departamentos nacionais de águas subterrâneas tenham capacidade suficiente. A recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas deve ser bem organizada dentro dos países. Se outros intervenientes estiverem a recolher dados sobre águas subterrâneas no aquífero transfronteiriço, deverão também ser associados ao programa.

As organizações transfronteiriças ou internacionais poderão também apoiar programas transfronteiriços de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas. As organizações transfronteiriças de lagos e bacias hidrográficas (L/RBOs), inicialmente criadas para a gestão dos recursos de águas superficiais, estão a integrar cada vez mais os recursos de águas subterrâneas. Nesta perspectiva, é uma estratégia lógica integrar a recolha e gestão de dados transfronteiriços de águas subterrâneas em L/RBOs bem estabelecidas, como foi decidido, por exemplo, para o Sistema Aquífero Transfronteiriço Stampriet na Bacia do Rio Orange-Senqu (Caixa 7.1). Uma instituição a nível da SADC, como o Instituto de Gestão das Águas Subterrâneas da SADC (SADC-GMI) também pode ser instrumental na criação e apoio a programas transfronteiriços de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas. O mandato da SADC-GMI inclui aquíferos transfronteiriços, bem como a gestão de dados e informações para a região da SADC. A SADC-GMI não pretende recolher dados no terreno, mas poderia apoiar os países e as L/RBOs com capacidade para estabelecer e gerir conjuntos de dados e sistemas de informação transfronteiriços. Ver também a Secção 7.4 Normas OGC e interoperabilidade para modelos potenciais para gerir o fluxo de informação entre diferentes organizações.

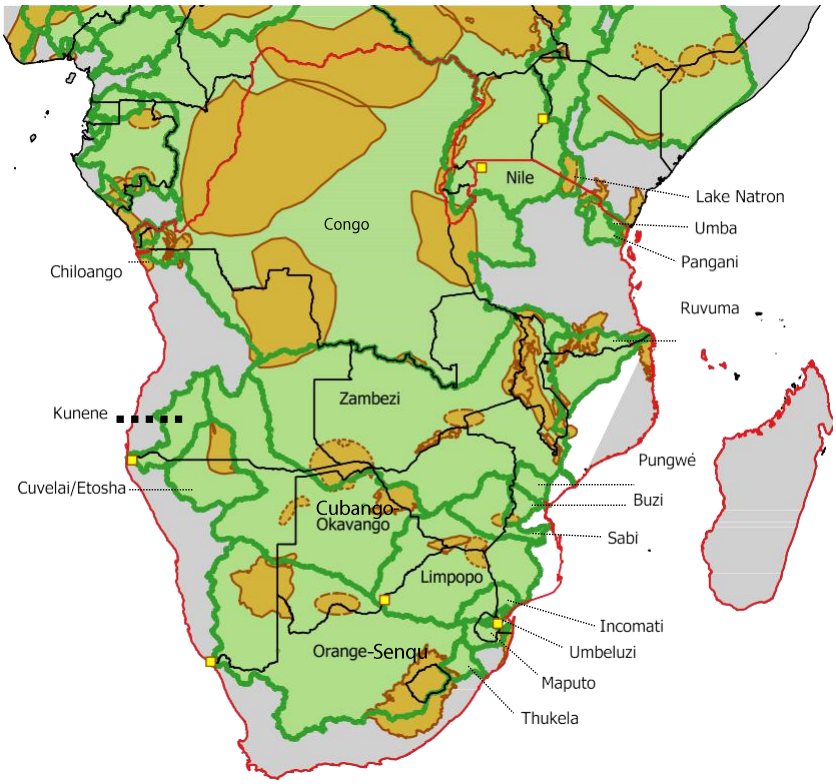
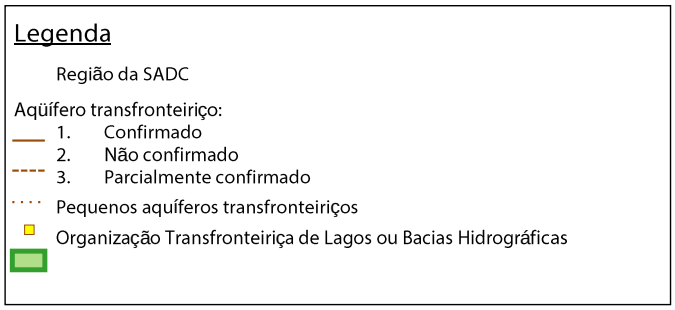


Figura 10:1 Mapa das bacias hidrográficas internacionais e dos aquíferos transfronteiriços na região da SADC



Caixa 10.1 Um exemplo de cooperação transfronteiriça na SADC: o Sistema Aquífero Transfronteiriço de Stampriet (STAS)

O Sistema Aquífero Transfronteiriço de Stampriet (STAS) estende-se através do Botswana, Namíbia e África do Sul. Encontra-se inteiramente dentro da bacia do rio Orange-Senqu. Desde 2013, têm sido feitos esforços para avaliar o STAS e coordenar a sua gestão, com o apoio do projecto GGRETA (Groundwater Resources Governance in Transboundary Aquifers) liderado pela UNESCO-IHP e financiado pela Agência Suíça para o Desenvolvimento e Cooperação (SDC). É um caso de estudo inspirador para a avaliação e a gestão de aquíferos transfronteiriços na SADC.

Na 1ª fase do projecto (2013-2015), foi feita uma avaliação geral do STAS, baseada na compilação, harmonização e reinterpretação de dados dos três países, coordenada pelo Departamento de Águas do Botswana, o Departamento de Águas e Florestas da Namíbia, e o Departamento de Águas e Saneamento da África do Sul. A avaliação forneceu uma visão significativa sobre a hidrogeologia do STAS e identificou onde as acções de gestão devem ser tomadas (principalmente na protecção dos aquíferos contra a contaminação). É importante notar que a 1ª avaliação salientou que completar o quadro do estado e tendências das águas subterrâneas e definir estratégias de gestão adequadas foram dificultadas pela falta de dados de monitorização suficientes. Para organizar a monitorização e a gestão do STAS, foi estabelecido um Mecanismo de Cooperação Multi-países (MCCM) na 2ª fase do projecto GGRETA (2016-2018). O STAS MCCM foi aninhado na Comissão do Rio Orange-Senqu (ORASECOM), e mais especificamente no seu Comité de Hidrologia das Águas Subterrâneas (GWHC). A GWHC aconselha a ORASECOM em assuntos relacionados com as águas subterrâneas, incluindo a recolha e gestão de dados e aquíferos transfronteiriços. Dentro da GWHC, o STAS MCCM tem como objectivo institucionalizar o cooperação sobre o STAS e sua sustentação após o período do projecto GGRETA.

A seguir, o MCCM deve abordar:

- A necessidade de protocolos e normas, para que os dados recolhidos pelos três países estejam no mesmo formato e possam ser facilmente fundidos na base de dados transfronteiriça;
- A necessidade de actualizações regulares da base de dados transfronteiriça com dados dos países. Isto deve ser feito manualmente, até que as bases de dados nacionais apoiem o intercâmbio automático de dados; e
- A necessidade de dados de monitorização adicionais em algumas partes do STAS.

Fonte: UNESCO-IHP, ORASECOM (2018)

10.4 Mensagens Principais

- **O envolvimento de múltiplas organizações e intervenientes na recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas exige uma clara divisão de papéis e responsabilidades;**
- **Os programas transfronteiriços de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas devem ser implementados gradualmente, começando com uma avaliação inicial baseada na recolha, harmonização e combinação dos conjuntos de dados existentes dos países, antes de passar à monitorização conjunta;**
- **Os programas transfronteiriços podem depender de organizações representativas nacionais (por exemplo, ministérios), que precisam de coordenar a recolha de dados no seu próprio país e a criação de conjuntos de dados transfronteiriços;**
- **As organizações nacionais envolvidas em programas transfronteiriços devem ter capacidade suficiente. As questões orçamentais e organizacionais a nível nacional são susceptíveis de se replicarem a nível transfronteiriço; e**
- **Embora os dados possam ser recolhidos através de organizações nacionais, as instituições transfronteiriças e internacionais, tais como as L/RBOs (Lake and River Basin Organisations) ou o SADC-GMI (SADC-GMI) estão bem posicionadas para fornecer apoio ou mesmo liderar programas transfronteiriços de recolha e gestão de dados sobre águas subterrâneas.**

REFERÊNCIAS

Adekile, D., Danert, K. (2014) Short Course: Drilling Supervision. Cost-Effective Boreholes. Skat Foundation. Available from: http://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/570

Agence Française de Développement-AFD (2011) Towards *a Joint Management of Transboundary Aquifer Systems.* AFD Research Department

Bergkamp, G., Cross, C. (2006) *Groundwater and Ecosystem Services: Towards their Sustainable Use*. Proceedings from: International Symposium on Groundwater Sustainability

British Columbia Water Association (2017) Groundwater Protection Regulation Handbook Version 1. British Columbia. Available from: https://www.bcgwa.org/wp-content/uploads/2017-GWPR-Handbook_BCGWA_v1.pdf

Bureau of Meteorology (2017) Good Practice Guidelines for Water Data Management Policy: *World Water Data Initiative*. Bureau of Meteorology, Melbourne. Available from: http://www.bom.gov.au/water/about/publications/document/Good-Practice-Guidelines-for-Water-Data-Management-Policy.pdf

Department of Water - Western Australia (2016) Measuring the Taking of Water. Department of Water. Western Australia. Available from: https://www.water.wa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0005/8186/109923.pdf

EPA Australia (2000) Groundwater Sampling Guidelines. Southbank Victoria. Available from: https://www.epa.vic.gov.au/~/media/Publications/669.pdf

FAO (2016a) Global Diagnostic on Groundwater Governance. FAO, Rome. http://www.fao.org/3/a-i5706e.pdf Available from: http://www.groundwatergovernance.org/

FAO (2016b) Shared Global Vision for Groundwater Governance 2030. FAO, Rome. http://www.fao.org/3/a-i5508e.pdf Available from: http://www.groundwatergovernance.org/

FAO (2016c) Global Framework for Action. FAO, Rome. http://www.fao.org/3/a-i5705e.pdf Available from: http://www.groundwatergovernance.org/

Fitch. P., Brodaric, B., Stenson, M., Booth, N. (2016) Integrated Groundwater Data Management. In: Jakeman A.J., Barreteau O., Hunt R.J., Rinaudo JD., Ross A.(eds) Integrated Groundwater Management. Springer, Cham. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9_26

IGRAC (2008) Guideline on Groundwater Monitoring for General Reference Purposes. IGRAC report. International Working Group I. Utrecht 2006; revised 2008. Available from: https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/WG1-7-Guideline-v12-03-08.pdf

IGRAC, UNESCO-IHP (2015) Guidelines for Multidisciplinary Assessment of Transboundary Aquifers. pp. 96. IGRAC, Delft. Available from: https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/Guidelines%20for%20TBA%20Assessment%2020150901.pdf

IGRAC and IGS (2019a) Report on Activities. Capacity Building for Groundwater Data Collection and Management in SADC Member States (SADC-GWdataCoM project), CS2017/05. SADC Groundwater Management Institute, Bloemfontein

IGRAC and IGS (2019b) State of Groundwater Data Collection and Management in the SADC Member States. Capacity Building for Groundwater Data Collection and Management in SADC Member States (SADC-GWdataCoM project), CS2017/05.SADC Groundwater Management Institute, Bloemfontein

IPCC (2014) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, New York

Jousma, G., Roelofsen, F.J. (2003) Inventory of Existing Guidelines and Protocols for Groundwater Assessment and Monitoring. Report nr. GP 2003-1. IGRAC, Utrecht, 2003. Available from: https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/Rapport%204%20-%20Inventory.pdf

Kongo, V.M., Kosgei, J. R., Jewitt, G. P. W. and Lorentz, S. A. (2010) Establishment of a Catchment Monitoring Network through a Participatory Approach in a Rural Community in South Africa. Hydrology and Earth System Sciences 14, 2507–2525

Kovalevsky, V.S., Kruseman, G.P., Rushton, K.R., (Eds) (2004) Groundwater Studies - An international guide for hydrogeological investigations. IHP-VI, Series on Groundwater No.3. UNESCO-IHP, Paris, 2004. Pp 423. ISBN: 92-9220-005-4. Available from: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134432

Kruseman, G.P., de Ridder, N.A. (1994) Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. 2nd Edition. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.

Ministério da Energia e Águas – Angola (2014) Modelo de Gestão Comunitária de Água. Direcção Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento. (Model for Community Water Management. National Directorate of Water Supply and Sanitation)

Moleme M.F. and Gomo M (2019). Evolution of Fluid Electrical Conductivity Profiles Associated with a Saline Contaminant Plume in a Horizontal Single-Plane Fractured-Rock Aquifer System. Natural Resources Research, 28(1): 79-90. https://doi.org/10.1007/s11053-018-9372-9

Netherlands Government (2009) Wet van, houdende Regels Met Betrekking tot het Beheer en Gebruik van Watersystemen (Waterwet). National Water Act, 2009

Ohio Environmental Protection Agency (2012) Technical Guidance Manual for Ground Water Investigations – Chapter: 10 Ground Water Sampling. Division of Drinking and Ground Waters, Columbus, Ohio. Available from: https://www.epa.state.oh.us/portals/28/documents/TGM-10.pdf

Roy, H.E., Pocock, M.J.O., Preston, C.D., Roy, D.B., Savage, J., Tweddle, J.C. and Robinson, L.D. (2012) Understanding Citizen Science & Environmental Monitoring. Final Report on behalf of UK-EOF. NERC Centre for Ecology & Hydrology and Natural History Museum.

Rural Water Supply Network (2010) Code of Practice for Cost Effective Boreholes. Available from: https://www.unicef.org/wash/files/Code_of_Practice_FINAL.pdf

SADC (2016a) SADC Selected Economic and Social Indicators. SADC, Gaborone

SADC (2016b) Regional Strategic Action Plan on Integrated Water Resources Development and Management – Phase IV (2016-2020). SADC Secretariat, Gaborone

SADC (2011) Development and Testing of Groundwater Drought Management Strategies in the Limpopo Basin Pilot Areas, Final Report.

SADC (2006) Regional Water Strategy. Southern African Development Community, Infrastructure and Services Directorate. SADC Secretariat, Gaborone

SADC (2005) Regional Water Policy. Southern African Development Community, Infrastructure and Services Directorate. SADC Secretariat, Gaborone

SADC (2001) Guidelines for the Groundwater Development in the SADC Region. Development of a Code of Good Practice for Groundwater Development in the SADC Region. Report prepared by Groundwater Consultants, Maseru, Lesotho. Prepared for: Southern African Development Community (SADC), Water Sector Coordination Unit (WSCU). Available from: http://www.dwa.gov.za/Groundwater/Documents/Guidelines%20for%20the%20groundwater%20development%20in%20the%20SADC%20region%20-%20Report%20No%202%20(Final).pdf

SADC (2000) Revised Protocol on Shared Watercourses in the Southern African Development

Region. SADC, Gaborone
SADC Groundwater Management Institute (2019) Policy, Legal and Institutional Development for Groundwater Management in the SADC Member States (GMI-PLI). Regional Gap Analysis and Action Plan report. SADC GMI, Bloemfontein
Subcommittee on Ground Water (2013) A National Framework for Ground-water Monitoring in the United States. The Subcommittee on Ground Water of the Advisory Committee on Water Information, United States. First release – June 2009, Revised – July 2013. Available from: http://acwi.gov/sogw/pubs/tr/index.html
Sundaram, B., Feitz, A., Caritat, P., de Plazinska, A., Brodie, R., Coram, J., Ransley, T. (2009) Groundwater Sampling and Analysis – A Field Guide. Geoscience Australia. Available from: https://d28rz98at9flks.cloudfront.net/68901/Rec2009_027.pdf
Tordiffe, E.A.W. (2010) Groundwater Monitoring in the Orange-Fish River Basin, Namibia: Recommendations towards Establishing a Monitoring System. Report produced by GeoHydro Consultants Namibia and Karst Hydrogeological Consultants Namibia for the Ephemeral River Basins in Southern Africa (ERB) Project, Desert Research Foundation of Namibia (DRFN), Windhoek
Tuinhof, A., Foster, S., Kemper, K., Garduño, H., Nanni, M. (2006) Groundwater Monitoring Requirements for Managing Aquifer Response and Quality Threats. GW-MATE Briefing note series. Note 9. The World Bank, Washington. Pp10. Available from: https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/GWMATE%20briefing%20notes%20-%20Monitoring%20Requirements.pdf
UNECE Task Force on Monitoring and Assessment (2000) Guidelines on Monitoring and Assessment of Transboundary Groundwater, Lelystad. Available from: http://www.unece.org/index.php?id=12609
UNESCO-IHP, ORASECOM (2018) Operationalization of the Stampriet Transboundary Aquifer System (STAS) Multi-Country Cooperation Mechanism (MCCM) https://groundwaterportal.net/sites/default/files/TORs_UNESCO_ORASECOM_Final.pdf
UN General Assembly (2008) Resolution on the Law of Transboundary Aquifers Adopted by the General Assembly of the United Nations (11 December 2008, A/Res/63/124)
UNICEF, Skat Foundation (2016) Professional Water Well Drilling: A UNICEF Guidance Note, Cost Effective Boreholes Partnership of the Rural Water Supply Network by UNICEF and Skat Foundation. Available from: www.unicef.org and www.rural-water-supply.net
United States Environmental Protection Agency-US EPA (2016a) Groundwater Level and Well Depth Measurement: Operating Procedure. Athens, Georgia. Available from: https://www.epa.gov/quality/groundwater-level-and-well-depth-measurement
United States Environmental Protection Agency-US EPA (2016b) Quick Guide to Drinking Water Sample Collection. Region 8 Laboratory Golden, CO 80403. Available from: https://www.epa.gov/sites/production/files/201511/documents/drinking_water_sample_collection.pdf
United States Environmental Protection Agency-US EPA (2007) Long-Term Groundwater Monitoring Optimization Clare Water Supply Superfund Site Permeable Reactive Barrier and Soil Remedy Areas Clare, Michigan. EPA 542-R-07-010. Available from: https://frtr.gov/pdf/PRB%20and%20Soil%20Remedy%20Areas%20Final%20Report.pdf
Van der Gun, J. (2018) Data, Information, Knowledge and Diagnostics on Groundwater. In Advances in Groundwater Governance, Karen G. Villholth, Elena Lopez-Gunn, Kirstin Conti, Alberto Garrido, Jac Van Der Guned(eds). CRC Press, Leiden
Van der Gun, J., Custidio, E. (2018) Governing Extractable Subsurface Resources and Subsurface Space. In Advances in Groundwater Governance, Karen G. Villholth, Elena Lopez-Gunn, Kirstin Conti, Alberto Garrido, Jac Van Der Gun(eds). CRC Press, Leiden

van Tonder, G., Bardenhagen, I., Riemann, K., van Bosch, J., Dzanga, P., Xu, Y. (2001a) Manual on Pumping Test, Analysis in fractured – Rock Aquifers. Water Research Commission (WRC), South Africa. WRC Report No III6/1/02, ISBN No 1 86845 861 X. Available from: http://scholar.ufs.ac.za:8080/xmlui/handle/11660/7423

van Tonder, G.J., Botha, J.F., Chiang, W.-H., Kunstmann, H., Xu, Y. (2001b) Estimation of the Sustainable Yields of Boreholes in Fractured Rock Formations. Journal of Hydrology, 241:70-90. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169400003693

Walker, D., Forsythe, N., Parkin, G., Gowing, J. (2016) Filling the Observational Void: Scientific Value and Quantitative Validation of Hydrometeorological Data from a Community-Based Monitoring Programme. Journal of Hydrology 538, 713-725

Water Research Commission-WRC (2017) Groundwater Sampling Manual. WRC Report No. TT 733/17, ISBN 978-1-4312-0926-2. Pretoria. Available from: http://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20733-17.pdf

Wellfield Consulting Services, British Geological Survey (2011a) Groundwater Monitoring Guidelines. Final report October 2011. Groundwater and Drought Management in the Southern African Development Community (SADC). Component 2: Regional Groundwater Drought Management Support. Contract 003D: Regional Groundwater Monitoring Network, Gaborone

Wellfield Consulting Services, British Geological Survey (2011b) Groundwater Monitoring Pilot Study. Final report October 2011. Groundwater and Drought Management in the Southern African Development Community (SADC). Component 2: Regional Groundwater Drought Management Support. Contract 003D: Regional Groundwater Monitoring Network, Gaborone

Wellfield Consulting Services, British Geological Survey (2011c) Transboundary Aquifers in SADC. Review and Classification with respect to Regional Groundwater Monitoring. Final report September 2011. Groundwater and Drought Management in the Southern African Development Community (SADC). Component 2: Regional Groundwater Drought Management Support. Contract 003D: Regional Groundwater Monitoring Network, Gaborone

Wilkinson, M.D. et al. (2016) The FAIR Guiding Principles for Scientific Data Management and Stewardship. Scientific Data. doi:10.1038/sdata.2016.18

World Bank (2017) Hidden and Forgotten: Managing Groundwater in Southern Africa. Available from: http://www.worldbank.org/en/news/feature/2017/06/07/hidden-and-forgotten-managing-groundwater-in-southern-africa

Tabela A1 Resumo das principais actividades que devem ser realizadas durante a actividade de furos de sondagem / levantamento e os resultados esperados

Actividade	Objectivos	O que fazer?	Equipamento	Dados-chave e informações a recolher
1. Estudo de ambiente de trabalho	• Desenvolver uma compreensão conceptual preliminar da hidrogeologia da área	• Pesquisa de estudos relevantes relatados sobre águas subterrâneas • Pesquisa de mapas geológicos e hidrogeológicos em relação à área de interesse • Revisão e síntese da informação	• Internet, arquivos, biblioteca • Imagens aéreas e de satélite • Mapas geológicos + estudos • Mapas hidrogeológicos + estudos	Ter uma compreensão geral de: • Registos de furos existentes, por exemplo, localização de furos num raio de influência específico da área de interesse (por exemplo, raio de 2 km), greves de água, litologia, rendimentos e níveis de águas subterrâneas, • Controlos geológicos da ocorrência de águas subterrâneas • Tipos de aquíferos típicos que ocorrem à escala regional e à escala local, caso existam
2. Hidro-censo e passeio no loca	• Identificar e compreender as actividades de utilização de águas subterrâneas dentro do raio de influência, se a área de interesse • Confirmação das informações recolhidas na etapa 1	• Realizar uma visita de campo e recolher dados existentes sobre furos; coordenadas de furos, elevação, profundidade, rendimento, utilizações e qualidade (indicadores gerais da qualidade da água: pH e condutividade eléctrica), • Conduzir um passeio sobre o local onde o furo deve ser colocado.	• Sistema de Posicionamento Global (GPS) • Medidor de imersão • Medidores de pH e CE • Mapa do sítio	• Dados de localização dos furos (x, y, z) • Dados de utilização dos furos • Registos de rendimentos para furos instalados com contadores de água • Ter uma ideia inicial sobre a disposição das travessias para o levantamento geofísico
3. Relatório intercalar	• Plano de levantamento geofísico de campo	• Analisar informação da actividade 1 a 2 e escrever um relatório provisório como base para planear o planeamento dos levantamentos geofísicos de campo	• Não é necessário equipamento especial.	• Decidir/recomendar o tipo de equipamento adequado ao levantamento geofísico de campo, com base no entendimento das condições do local, • Conceber o traçado das travessias no mapa para o geofísico
4.Levantamento geofísico de campo	• Localizar o alvo de perfuração adequado utilizando um método (s) geofísico (s) adequado e o equipamento recomendado no relatório intercalar (Actividade 4)	• Realizar o levantamento geofísico, • Registar os parâmetros geofísicos de investigação, • Registar as coordenadas dos pontos de início e fim das travessias, • Marcar posições de potencial interesse à medida que se faz o levantamento (refinado durante a análise de dados)	• GPS, • Câmara fotográfica, • Equipamento geofísico, • Materiais para marcação.	• Dados dos parâmetros geofísicos investigados, • Coordenadas dos pontos de partida e de chegada das travessias, • Identificação de potenciais locais de perfuração

Actividade	Objectivos	O que fazer?	Equipamento	Dados-chave e informações a recolher
5. Relatório de furos de sondagem	• Dar uma descrição detalhada do trabalho de furos de sondagem e das principais descobertas (Actividade 1-5)	• Processar e interpretar os dados do levantamento geofísico de campo para identificar o alvo da perfuração	• Conhecimento e software/ferramenta para processamento e análise de dados	• Dados e análises para motivar o alvo seleccionado • Coordenadas do(s) alvo(s) de perfuração seleccionado(s), • Descrição do alvo de perfuração, • por exemplo, características geológicas a serem alvo como falhas, fracturas e etc.., • Profundidade estimada das greves de água e profundidade global de perfuração, • O desenho básico provisório do poço pode fazer parte desta fase • Relatório incluindo todas as actividades (1-5).

Devem ser implementadas medidas de segurança e protecção para cada visita de campo de acordo com as normas nacionais, directrizes e ética profissional.

Anexo B Procedimentos de Perfuração e Supervisão de Furos

A Tabela B1 abaixo apresenta um resumo das principais fases da supervisão da perfuração, responsabilidades e dados-chave a serem recolhidos durante as diferentes fases. Para o processo de perfuração

Tabela B1 Resumo das principais etapas de instalação de furos, responsabilidades de supervisão e perfuração e outros atributos

Fases de supervisão de furos	Responsabilidade do perfurador	Responsabilidade do Supervisor	Fase de recolha de dados-chave
1. Fornecimento para o furador apropriado	• Responder ao pedido do cliente	• Pedido de um primeiro orçamento de pelo menos 3 empreiteiros de perfuração para a tarefa em questão, • Utilizar a avaliação e verificar no passo dois e seleccionar o furador mais rentável e capaz.	• Orçamento inicial de serviços do empreiteiro de perfuração para perfuração, construção, desenvolvimento e conclusão
2. Pré-mobilização	• Levantar questões específicas sobre o âmbito do trabalho e os requisitos contratuais, • Submeter amostras de materiais	• Discutir sobre a concepção do furo (utilizar como guia, mas pode ser modificado durante a perfuração), • Verificar a qualidade e especificações dos invólucros e ecrãs, • Verificar a qualidade e especificações do material de gravilha/areia + embaladores (se aplicável), • Avaliar a capacidade global dos perfuradores.	• Perfuradora mais rentável e capaz seleccionada para nomeação • Indicação de satisfação com a qualidade do material e também a capacidade do furador, caso contrário: • Fazer recomendações ao perfurador para melhorias, • Se não estiver satisfeito com o material, comunicar com o furador e, se possível, adquirir materiais apropriados separadamente.
3. Mobilização	• Submeter programa de trabalho, • Disponibilizar equipamento e materiais para inspecção da prontidão através do supervisor da perfuração, • Mover equipamento para o local e materiais para o local.	• Verificar a prontidão da perfuradora; • Aprovar o equipamento e o material de perfuração, • Ligar/ informar os líderes comunitários sobre a data da perfuração uma ou duas semanas antes da perfuração. • Guiar a perfuradora até ao local (Atualmente GPS é utilizado para direcção)	• Os líderes comunitários estão cientes da presença da equipa de perfuração e deram o seu consentimento, • O perfurador chegou ao local e está pronto para a perfuração,
4. Perfuração	• Posicionar e operar a plataforma, • Perfurar, construir, desenvolver e completar o furo de acordo com as especificações do contrato de perfuração, • Recolher amostras de lascas de perfuração para um local seguro para o abate de árvores, e • Realizar teste de rendimento de golpe para cada golpe de água	• Monitorizar o direito de perfuração, assegurar a sua orientação de acordo com as especificações do projecto, • Monitorizar o processo de perfuração, • Medir a qualidade das águas subterrâneas após as greves de água (CE e pH podem fornecer um indicador geral) + registar a produção de golpes.	• Data da perfuração • Localização exacta do furo • Registos litológicos (normalmente por 1 metro de profundidade de perfuração) tais como: tipo de formação, textura, cor, estrutura, estado da meteorologia, etc. • Taxas de penetração por 1 metro de indicadores de profundidade de furação
5. Construção de furos	De acordo com as especificações do supervisor: • Gravilha/areia embalar o furo • Instalar o invólucro e o ecrã • Etc.	• Instrua o invólucro e a profundidade de triagem conforme informado por observações feitas durante a etapa 4 • Assegurar que o saco de gravilha é devidamente colocado em redor do furo na profundidade desejada	• Desenhos e dimensões reais do furo • Detalhes de construção do furo - ecrã e saibro/arengradado • Opcional: Descrição do sítio com fotografias
6. Desenvolvimento e conclusão	De acordo com as especificações do supervisor: • Desenvolver o furo, • Construir selo sanitário e almofada, • Desinfectar o buraco, se for necessário.	Assegurar que o: • Furo de sondagem está suficientemente desenvolvido, ou seja, a água está clara, • Selo sanitário e almofada devidamente construídos de acordo com as especificações de concepção e de acordo com as condições do local • O furo é suficientemente desinfectado. • Medir o nível das águas subterrâneas após a conclusão	• Furo de sondagem concluído, agora à espera de entrega ao cliente/autoridades responsáveis, • Registo dos dados do nível das águas subterrâneas após a sua conclusão, • Registo abaixo do rendimento e profundidade dos golpes

Fases de supervisão de furos	Responsabilidade do perfurador	Responsabilidade do Supervisor	Fase de recolha de dados-chave
7. Desmobilização	• Remover todo o equipamento e lixo do local	• Submeter todos os registos ao supervisor/cliente de perfuração	• O local de perfuração está agora limpo e restaurado no seu estado anterior e pronto para ser entregue. • Comece a compilar o relatório de perfuração
8. Documentação e entrega	• Assegurar que o local de perfuração é devidamente limpo e restaurado ao seu estado anterior	• Relatar e entregar o furo ao cliente	Apresentar relatório de perfuração e entregar o furo ao cliente. • Relatório deve documentar todo o(s) processo(s) de instalação do(s) furo(s), analisar os dados de perfuração obtidos nos passos 9 (perfuração) a 11 (desenvolvimento & conclusão) e desenvolver uma compreensão conceptual inicial do aquífero onde o furo foi perfurado. • Este entendimento conceptual inicial deve incluir aspectos como registos litológicos, localização de zonas de fluxo principal (greves de água), cabeças piezométricas/hidráulicas[1], aquífero estrutura e tipo

[1] Para determinar a precisão piezométrica/hidráulica, utilizar a elevação do furo (metros acima do nível médio do mar) determinada utilizando GPS diferencial..

é importante distinguir entre as responsabilidades do perfurador e as do supervisor da perfuração.

Esta secção é preparada principalmente utilizando os materiais da Rede Rural de Abastecimento de Água (2010), Adekile e Danert (2014), e UNICEF e Fundação Skat (2016).

Anexo C Teste de furos

Introdução

Os testes de bombeamento são realizados para testar o desempenho dos furos, estimar o rendimento sustentável e/ou estimar as propriedades hidráulicas do aquífero. Os testes para o desempenho do furo e a estimativa do rendimento sustentável são muitas vezes denominados teste de bom desempenho ou teste de furo, enquanto os testes para estimar as propriedades físicas/hidráulicas do aquífero/sistema aquífero tendem a ser referidos como testes de bombeamento (aquífero). Estão disponíveis muitos métodos diferentes dependendo do objectivo específico do teste, da disponibilidade de furos de observação adequados no raio de influência do furo bombeado, da compreensão conceptual do aquífero/sistema de aquíferos, etc. Devido à influência das heterogeneidades, os sistemas aquíferos/aquíferos respondem de forma não uniforme ao stress aplicado durante os testes do aquífero, pelo que não é possível fornecer uma única receita sobre a forma como os dados devem ser recolhidos e analisados. O perito envolvido no teste é totalmente responsável pela forma como o teste é conduzido e analisado (van Tonder et al. 2001a).

Para informações detalhadas sobre a realização de testes de bombagem de aquíferos, a análise e interpretação dos dados tanto da SADC (2001) como de Kruseman e de Ridder (1994) fornecem uma orientação abrangente.

Teste de rendimento de furos

Qualquer pessoa que possua um furo está interessada em saber a taxa máxima de descarga a que pode abstrair as águas subterrâneas para o seu fim específico e de modo a poder ter a certeza de obter continuamente água do seu furo durante um período de tempo especificado. O rendimento do furo é por vezes referido como o rendimento seguro (Kalf e Woolley, 2005), rendimento fiável (Misstear e Beeson 2000; Hammond 2018) ou rendimento sustentável (van Tonder et al. 2001b). Neste Quadro, o termo rendimento sustentável será utilizado, mas na prática estes termos são permutáveis.

Para estimar o rendimento sustentável de um único furo, as medições são tipicamente feitas no furo de bombagem. Não é obrigatório fazer uso de poços de observação adicionais, mas se houver furos de observação ou furos de produção (bomba trocada de e após recuperação suficiente) na localidade do furo de teste, as medições podem ser feitas naqueles para avaliar o efeito de inferência do poço. A Figura C1 apresenta um fluxograma mostrando as principais etapas dos testes de bombagem do aquífero para estimar o rendimento sustentável de um único furo.Para um campo de poços, a abordagem do balanço hídrico é apropriada para determinar o rendimento sustentável da bombagem, e isto pode ser aplicado através da modelação numérica do fluxo de águas subterrâneas.

A duração de um teste de bombagem com taxa constante de descarga (CRD) para estimar o rendimento sustentável variará dependendo da finalidade prevista do furo. As necessidades de água em grande escala (por exemplo, aldeia, cidade, institutos e etc.) podem exigir uma duração de teste de 24 a 72 horas, enquanto que para um furo doméstico pode ser de apenas 3 a 8 horas. A duração da CRD variará assim em função da utilização prevista do furo. A ênfase deverá portanto ser colocada na gestão baseada na operação do rendimento do furo. Isto implica que a monitorização regular dos níveis das águas subterrâneas deve ser feita durante as operações de vida útil do furo de modo a que o rendimento possa ser ajustado de acordo com as exigências e com a resposta do aquífero.

Parâmetros do aquífero - Teste de bombeamento do aquífero

As características físicas do aquífero, tais como a condutividade hidráulica e as características de armazenamento, fornecem informação importante para compreender as características do aquífero e a dinâmica das águas subterrâneas, e são um input importante para modelos numéricos de fluxo de águas subterrâneas que são utilizados para fins de análise/previsão de cenários. As propriedades do aquífero variam consoante o tipo de aquífero (Tabela C1). As características hidráulicas relevantes do aquífero podem ser estimadas a partir de testes de bombagem. Kruseman & de Ridder (1994) descrevem o princípio básico dos testes de bombeamento: "Se bombearmos água de um poço e medirmos a descarga do poço e o escoamento no poço e em piezómetros a uma distância conhecida do poço, podemos substituir estas medições numa equação de fluxo apropriada para calcular as características hidráulicas do aquífero". Kruseman & de Ridder (1994) também afirmam que os dados de levantamento do próprio poço bombeado ou de um piezómetro permitem frequentemente o cálculo das características hidráulicas do aquífero, no entanto, é sempre melhor ter tantos piezómetros quantos as condições o permitam. A vantagem de ter mais do que um piezómetro é que os levantamentos neles medidos podem ser analisados de duas maneiras: pela relação tempo-desenho e pela relação distância-desenho. Os resultados de tal análise serão mais precisos e serão representativos de um volume maior do aquífero

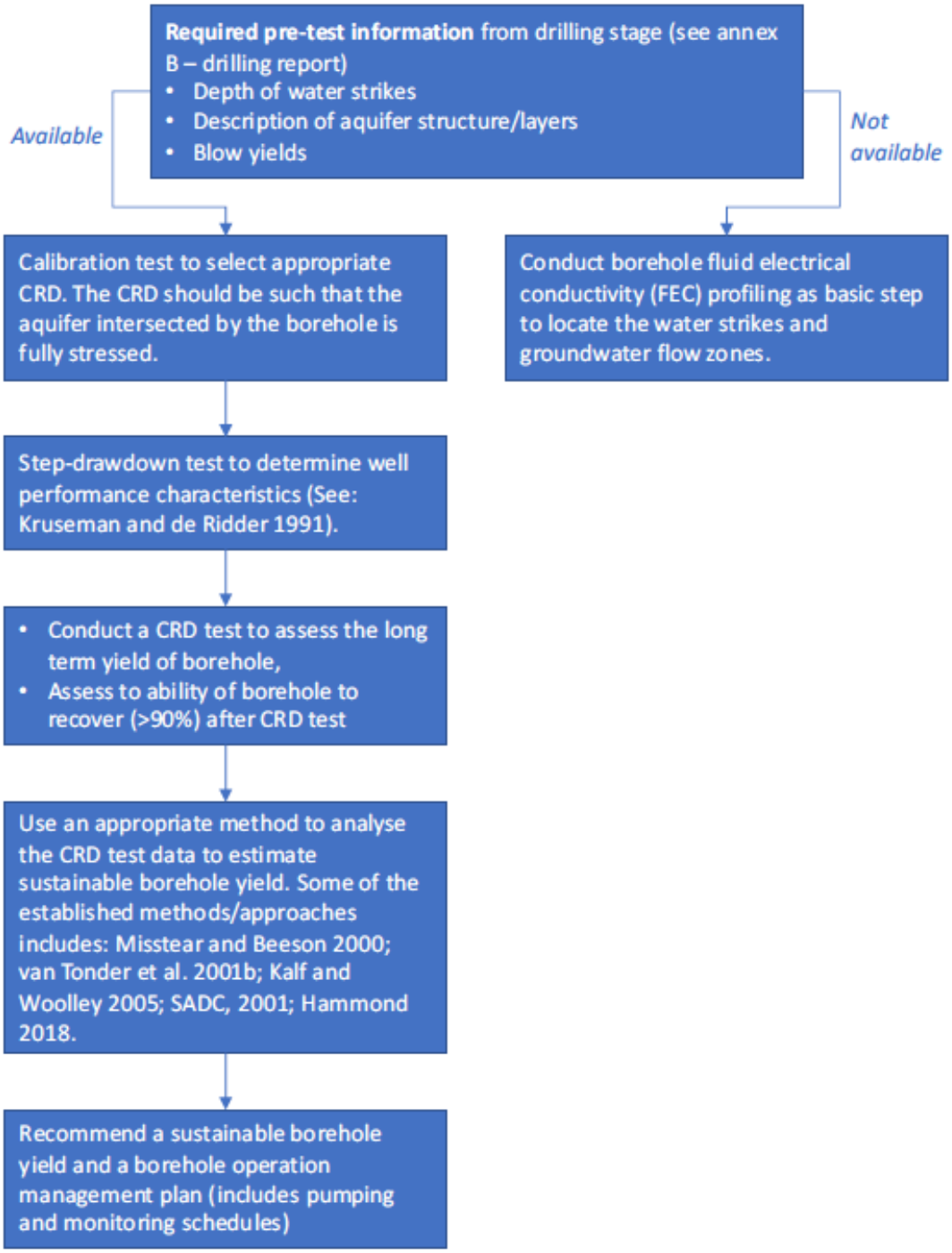


Figura C1: Diagrama de fluxo mostrando as etapas gerais dos testes de bombeamento do aquífero para estimar o rendimento sustentável de um único furo

Tabela C1 Um resumo hidráulico e parâmetros dos aquíferos que podem ser estimados a partir da análise dos dados do teste de bombagem

Tipo de aquífero	Propriedades de armazenamento	Hydraulic properties
Não definido	Estoratividade (S) Rendimento específico (Sy)	Propriedades hidráulicas Condutividade hidráulica horizontal (Kh)
Aquífero com fugas	Estoratividade (S)	Condutividade hidráulica vertical (Kv) Condutividade hidráulica horizontal (Kh) Transmissividade (T) Factor de fugas (L)
Confinado	Estoratividade (S)	Condutividade hidráulica horizontal (Kh) - geralmente denotada como K Transmissividade (T)
Camadas de confinamento/aquitarras		Condutividade hidráulica vertical (Kv) / Resistência hidráulica (c)

Principais etapas e expectativas dos testes de bombagem de aquíferos

Um resumo das principais etapas e expectativas dos testes de bombagem do aquífero é apresentado na Tabela C2. Os testes de bombagem começam com o planeamento com base no relatório de perfuração. Se o relatório de perfuração ou a informação sobre furos não estiver disponível, então o perfil de condutividade eléctrica do fluido (FEC) pode ser utilizado como ferramenta básica para localizar os cortes de água e ou zonas de fluxo de águas subterrâneas. Estas zonas são importantes porque representam tipicamente as zonas de alta transmissividade e as zonas de suporte das águas subterrâneas do aquífero que devem ser realçadas durante os testes. É ideal colocar a bomba de teste abaixo destas zonas para garantir que podem ser stressadas, e a água não cai abaixo das bombas durante o teste. Moleme e Gomo (2019) fornecem um exemplo sobre a aplicação do perfil de perfuração FEC para identificar zonas de fluxo de águas subterrâneas em aquíferos típicos de rocha fracturada.

Tabela C2: Um resumo das principais etapas e expectativas dos testes de bombagem de aquíferos

Etapa	Finalidade	Dados-chave a recolher	Parâmetros estimados
Planeamento	Para permitir a preparação do teste de descarga de taxa constante	• Localização do local, • Data, • A profundidade das greves de água, • Litologia de aquíferos, • Rendimento do sopro, • Consulte o relatório de perfuração	Não aplicável
Condutividade eléctrica do fluido de furo	Localizar greves de água e zonas de fluxo de águas subterrâneas	• Perfil FEC Furos	• Profundidade das greves de água e zonas de fluxo de águas subterrâneas
(FEC) traçar o perfil	Seleccione o CRD apropriado	• Tempo e níveis das águas subterrâneas (drawdown), • Taxas de descarga por etapas.	• CRD apropriado
Teste de calibração	Avaliar bem as características de eficiência	• Tempo e níveis de águas subterrâneas (drawdown), • Taxas de descarga por etapas.	• Eficiência do poço, • Propriedades hidráulicas
Teste de tracção por etapas	Estimar o rendimento sustentável/fiável do furo, Estimar o rendimento hidráulico do aquífero e propriedades de armazenamento	• Tempo e níveis de águas subterrâneas (drawdown), • CRD médio	• Rendimento sustentável/seguro/fiável • Propriedades hidráulicas do aquífero \ aquitard
Testes de tracção de taxa constante (CRD)	Estimar aquífero hidráulico e propriedades de armazenamento Avalie a % de recuperação	• Tempo residual, • Níveis residuais das águas subterrâneas	• Propriedades hidráulicas • Avaliar a % de recuperação

O **teste de calibração** é feito para ajudar a escolher uma taxa de descarga apropriada para o teste de bombeamento do aquífero. A adequação da taxa de descarga variará dependendo do objectivo dos testes de bombeamento do aquífero (Figura C1 e Figura C2). Na prática, os testes de calibração eficientes requerem experiência prévia, observação de campo e alguma avaliação qualitativa.

O **teste por etapas** é feito principalmente para avaliar as características de eficiência do poço. Isto é importante porque a componente de perda de eficiência do poço é factorada durante a estimativa de rendimento sustentável do poço (Hammond 2018). A estimativa da transmissividade do aquífero e da condutividade hidráulica horizontal pode ser feita a partir dos dados do teste de arrastamento por etapas (Kruseman e de Ridder 1994).

Os testes por etapas são normalmente seguidos por um teste de **descarga a taxa constante (CRD),** onde o furo é bombeado a uma taxa constante durante toda a duração do teste. Driscoll (1986) sugeriu a duração do teste de bombeamento CRD de 24 horas para aquífero confinado e 72 horas para aquífero não confinado. Dependendo das características hidrogeológicas, testes de maior duração podem ainda fornecer mais dados para uma melhor análise dos efeitos dos limites hidráulicos no aquífero e dos regimes de fluxo em sistemas multicamadas, mas na realidade, os custos de testes prolongados serão muitas vezes o factor limitante.

O teste de recuperação envolve a medição dos níveis de água residual de recuperação com o tempo após a mudança da bomba. A análise dos dados de recuperação fornece frequentemente uma verificação independente dos dados do teste de bombeamento porque acontece naturalmente. Tradicionalmente, apenas as propriedades hidráulicas podiam ser estimadas a partir dos dados de recuperação, mas foram agora desenvolvidas abordagens para estimar a capacidade de armazenamento a partir dos dados de recuperação (Ballukraya e Sharma 1991; Singh 2006 e Çimen 2015). A figura C2 mostra um fluxograma que ilustra as etapas gerais dos testes de bombeamento do aquífero para estimar os parâmetros do aquífero.

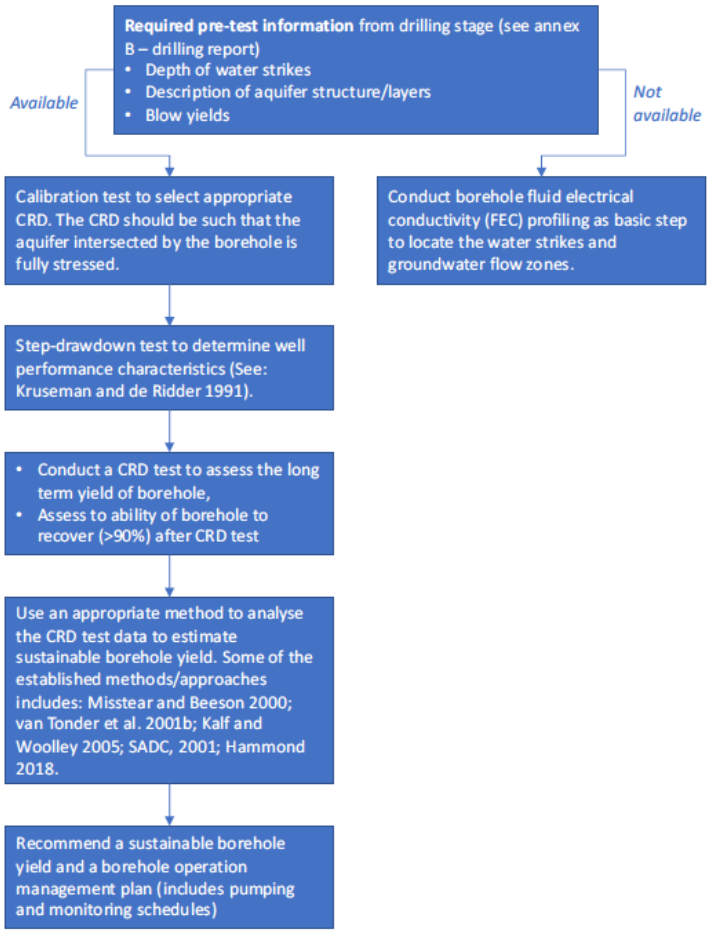


Figura C2 Diagrama de fluxo mostrando as etapas gerais dos testes de bombeamento do aquífero para os parâmetros do aquífero

Anexo D Aplicações de telemóveis para recolha de dados sobre águas subterrâneas

Tabela D1 Descrição das aplicações para telemóveis relevantes para a recolha de dados sobre águas subterrâneas

App	Website	Freeware/Licença paga
AKVO Flow	https://akvo.org/products/akvoflow/#overview http://flowsupport.akvo.org/container/show/akvo-flow-app	Pago
App para recolher, gerir, analisar e exibir dados de monitorização e avaliação geograficamente referenciados através da utilização de telemóveis e conectividade à Internet. Oferece uma rápida recolha de dados, flexibilidade de inquéritos e ferramentas analíticas.		
Collector	https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/collector-for-arcgis/resources	Pago
App para recolher e actualizar dados (pontos, linhas ou polígonos) usando o mapa ou GPS, descarregar mapas para mo- dispositivo biliar para trabalhar offline, criar formulários guiados por mapas, anexar fotografias, usar receptores GPS de grau profissional, procurar lugar e características.		
CrowdWater	https://www.crowdwater.ch/en/welcome-to-crowdwater/	Grátis
App para recolha de dados hidrológicos. Os dados recolhidos são: nível e fluxo de água, humidade do solo e condição de fluxo de um fluxo temporário.		
FieldLogger	http://www.artesia-water.nl/software/fieldlogger/	Grátis
App para registar novas estações no terreno (capturar coordenadas) e adicionar (monitorizar) dados aos locais. Armazena os valores por telefone em formato csv, e permite a partilha de dados por correio electrónico ou FTP.		
GeoPaparazzi	https://www.osgeo.org/projects/geopaparazzi/	Grátis
App para inquéritos qualitativos de campo. As características incluem: notas georreferenciadas, imagens georreferenciadas e orientadas, levantamento de dados baseado em formulários, fácil exportação dos dados recolhidos, uma vista de mapa para navegação com suporte para azulejos rasterizados e dados vectoriais.		
GGMN App	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vesselstech.ggmn&hl=en	Grátis
Aceder à geo-referência e registar as estações de monitorização das águas subterrâneas e capturar os dados de monotorização do nível das águas subterrâneas, com a opção de submeter os dados recolhidos ao Portal da Rede Global de Monitorização das Águas Subterrâneas (GGMN)..		
Go-Canvas	https://www.gocanvas.com/	Pago
App para criar formulários de campo e recolher dados para qualquer tipo de inquérito (por exemplo, monitorização ou dados de furos de sondagem/de perfuração/de teste). Permite a introdução manual de dados, captura de coordenadas e imagens e leitura de códigos de barras (determinar o local).		
Go Ground-water	https://en.eijkelkamp.com/products/sensors-monitoring/go-ground-water-app-and-dongle.html	Pago
Aplicação para configurar e ler Divers (registadores de dados da empresa van Essen) sem fios com um smartphone através de um dongle Bluetooth. Requer a instalação permanente de um dongle Bluetooth (IP67) no poço de monitorização.		
GW-Mobil	https://www.ribeka.com/en/products/gw-mobil/	Grátis
App para monitorização das águas subterrâneas. Os dados de campo são importados do dispositivo móvel directamente para o sistema de gestão (com fins comerciais) de águas subterrâneas GW-Base 9.0 ou superior (única opção disponível). Inclui ferramentas para planeamento e gestão de rotas e leitura de códigos de barras do local de monitorização para ligar automaticamente os dados ao local.		
LithoHero	http://lithohero.com/	Grátis
Aplicação para recolher, registar e exibir dados sedimentológicos e estratigráficos durante o trabalho de campo. A aplicação pode ser utilizada para descrever afloramentos ou núcleos.		
mWater	https://www.mwater.co/	Grátis / Pago

App para monitorizar qualquer tipo de dados: locais físicos como pontos de água e instalações (escolas, hospitais), alvos não geográficos como subsídios e projectos. A versão básica do aplicativo é gratuita, mas a funcionalidade completa requer uma licença paga.

Gestão Móvel da Água (MWM)	https://www.mobilewatermanagement.nl/ https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mobilewaterman-agement.sensor&hl=en	Grátis / Pago
App para monitorização das águas subterrâneas. A aplicação utiliza o smartphone (altifalante e sonar microfone) para medir os níveis das águas subterrâneas, até 20m de profundidade e com uma precisão de 1 cm. Os dados podem ser exportados para um Sistema de Informação de Água (WIS). A versão básica da aplicação é gratuita, mas a funcionalidade completa requer uma licença paga.		
MyWell	https://vesselstech.com/mywell.html	Grátis
App para monitorizar os dados das águas subterrâneas, bem como a pluviosidade e verificar as leituras das barragens. Para além dos níveis das águas subterrâneas, o utilizador pode armazenar e exibir informação adicional (texto / fotografia), bem como dados históricos e a nível de aldeia para simples comparação e análise.		
Qfield	https://www.qfield.org//	Grátis
QField ajuda os utilizadores a recolher geodados no terreno para utilização em projectos QGIS (QGIS é um pacote GIS disponível gratuitamente). É compatível com o ambiente de trabalho QGIS, e tem um paradigma de utilização comutável (Visualizar, Digitalizar, Medir, Inspeccionar). Qfield e QGIS são de código aberto.		

Nota: Esta panorâmica não é abrangente e tende meramente a ilustrar o potencial e a disponibilidade das aplicações, sem intenção de recomendar ou promover uma ferramenta/apoio específico.

Anexo E Leitura recomendada

Políticas e Estratégias da SADC

SADC (2005). **Política Regional da Água.**
A Política Regional da Água para a região da SADC visa fornecer um quadro para o desenvolvimento sustentável, integrado e coordenado, utilização, protecção e controlo dos recursos hídricos nacionais e transfronteiriços na região da SADC, para a promoção do desenvolvimento socioeconómico e integração regional e melhoria da qualidade de vida de todas as pessoas na região.

Directrizes e Manuais

Comissão de Investigação da Água (2017). **Manual de Amostragem de Águas Subterrâneas**. Comissão de Investigação da Água, Pretória, África do Sul. Relatório WRC nº TT 733/17, ISBN 978-1-4312-0926-2. Disponível em: http://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20733-17.pdf
O Manual de Amostragem de Águas Subterrâneas fornece orientações sobre técnicas consistentes de amostragem de águas subterrâneas que garantirão que todos os dados de qualidade das águas subterrâneas recolhidos são representativos da qualidade das águas subterrâneas in situ no momento da amostragem. A utilização destas orientações reduzirá os erros de amostragem, melhorando assim a qualidade dos dados. Os dados sobre a qualidade das águas subterrâneas recolhidos de acordo com estas técnicas descritas podem então ser utilizados de forma fiável para avaliar as condições hidrogeoquímicas e a qualidade das águas subterrâneas.

IGRAC (2008) **Directriz sobre a monitorização das águas subterrâneas para fins de referência geral.** Relatório do IGRAC. Grupo de Trabalho Internacional I. Utrecht 2006; revisto em 2008. Pp165.disponível a partir de: https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/WG1-7-Guideline-v12-03- 08.pdf
O relatório fornece orientações extensivas para o desenvolvimento e implementação de programas eficientes e reais de monitorização das águas subterrâneas isotérmicas. As directrizes abrangem aspectos de concepção de redes de monitorização de águas subterrâneas de acordo com objectivos específicos de monitorização. Addi- tionalmente, e isto faz com que estas directrizes se destaquem de outras directrizes sobre a monitorização das águas subterrâneas, o relatório trata também de aspectos práticos, institucionais, organizacionais e financeiros da monitorização das águas subterrâneas. Isto fornece aos utilizadores destas orientações as ferramentas para conceber redes de monitorização eficientes que são realistas para implementar e manter.

Kovalevsky, V.S., Kruseman, G.P., Rushton, K.R., (Eds) (2004) **Estudos de águas subterrâneas - Um guia internacional para investigações hidrogeológicas.** IHP-VI, Série sobre Águas Subterrâneas No.3. UNESCO-IHP, Paris, 2004. Pp 423. ISBN: 92-9220-005-4. Disponível em: https://un- esdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134432
Orientações extensivas/livro de texto (423 páginas) cobrindo todos os aspectos das investigações hidrogeológicas. O livro começa com introduções abrangentes a muitos princípios hidrogeológicos e também cobre aspectos da recolha de dados sobre águas subterrâneas com informação prática sobre métodos e equipamento disponíveis. Além disso, o livro descreve também os diferentes métodos de investigação hidrogeológica, aspectos do processamento de dados e da gestão das águas subterrâneas. Descrições específicas de diferentes cenários hidrogeológicos (rochas duras, rochas carbonatadas e rochas vulcânicas) completam o livro.

SADC (2001). **Directrizes para o Desenvolvimento das Águas Subterrâneas na Região da SADC.** Desenvolvimento - opção de um código de boas práticas para o desenvolvimento das águas subterrâneas na região da SADC. Relatório elaborado por Groundwater Consultants, Maseru, Lesotho. Preparado para: Unidade de Coordenação do Sector da Água da Comunidade do Desenvolvimento da África Austral (WSCU da SADC). Financiado pelo governo francês. Disponível em: http://www.dwa.gov.za/groundwater/Documents/Guidelines%20for%20the%20groun-water%20development%20in%20the%20SADC%20region%20%20Report%20No%202%20(Final).pdf

O relatório fornece orientações extensivas (incluindo alguns formulários/templates de campo) sobre a dobragem:

- Estudo de secretária e levantamento de reconhecimento para o desenvolvimento das águas subterrâneas;
- Furos de sondagem;
- perfuração e construção de furos;
- Desenvolvimento de furos;
- Amostragem de águas subterrâneas;
- Teste de sondagem de furos;
- Recomendações sobre bombagem de produção;
- Directrizes sobre poços e molas escavados à mão; e
- Directrizes para a elaboração de relatórios.

Grupo de Trabalho da UNECE sobre Monitorização e Avaliação (2000). **Directrizes sobre Monitorização e Avaliação de Águas Subterrâneas Transfronteiriças**. Lelystad. Disponível a partir de: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2018/WAT/05May_28-30_IWRM_WGMA/Transboudary_Groundwaters.pdf

O carácter destas Directrizes é mais estratégico do que técnico. Destinam-se aos governos e organismos conjuntos da ECE no desenvolvimento de regras harmonizadas para a criação e operação de sistemas de monitorização e avaliação transfronteiriça das águas subterrâneas. O grupo-alvo inclui decisores e planeadores nos ministérios, organizações e instituições responsáveis por questões ambientais, hídricas ou hidrogeológicas e todos aqueles que são também responsáveis pela gestão de águas subterrâneas transfronteiriças. As Directrizes visam igualmente prestar aconselhamento àqueles que são responsáveis ou envolvidos no desenvolvimento de esquemas de gestão sustentável da água

Estruturas

SOGW (Subcomité das Águas Subterrâneas) (2013). Um **Quadro Nacional de Monitorização das Águas Subterrâneas nos Estados Unidos**. O Subcomité sobre Águas Subterrâneas do Comité Consultivo de Informação sobre a Água, Estados Unidos. Primeira versão - Junho de 2009, Revisto - Julho de 2013 Disponível em: http://acwi.gov/sogw/pubs/tr/index.html
Em 2007, o Subcomité de Águas Subterrâneas (SOGW) foi encarregado pelo Comité Federal de Informação sobre a Água (ACWI) de desenvolver um quadro que estabeleça e encoraje a implementação de uma rede nacional a longo prazo de monotorização da quantidade e qualidade das águas subterrâneas. A Rede Nacional de Monitorização da Água Subterrânea (NGWMN) proposta é encarada como um sistema voluntário e integrado de recolha, gestão e comunicação de dados que poderia fornecer os dados necessários para ajudar a resolver as questões actuais e futuras do homem-agregado da água subterrânea levantadas pelo Congresso, Estado Federal, e agências tribais e pelo público.

FAO (2016). **Diagnóstico Global sobre a Governação das Águas Subterrâneas**. FAO, Roma (Itália). Disponível a partir de: http://www.groundwatergovernance.org
Esta publicação é um dos produtos do Projecto "Governação das Águas Subterrâneas - Um Quadro Global de Acção" implementado durante o período de Abril de 2011 a Junho de 2016. Apresenta o estado da governação das águas subterrâneas em todo o mundo e a sua diferença em relação às "dietas ideais". Baseia-se nas várias actividades do projecto, que incluíram o projecto de doze Documentos Temáticos, descrevendo o estado da arte tal como percebido por profissionais seleccionados, e vários Estudos de Caso, resumidos em conjunto num Relatório de Síntese. Foram realizadas cinco reuniões de Consulta Regional em diferentes partes do mundo, com o objectivo de recolher o máximo de informação possível sobre a governação das águas subterrâneas em diferentes regiões e países, e de captar as percepções e opiniões dos mais de quinhentos participantes. Além disso, cinco relatórios de diagnóstico regional sobre águas subterrâneas foram preparados por profissionais conhecedores de cada uma destas regiões.

Gestão de dados

Fitch P., Brodaric B., Stenson M., Booth N. (2016). **Gestão Integrada de Dados de Águas Subterrâneas**. In: Jakeman A.J., Barreteau O., Hunt R.J., Rinaudo JD., Ross A. (eds) (2016) Gestão Integrada das Águas Subterrâneas. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3- 319-23576-9_26
Documento de síntese descrevendo vários aspectos relacionados com a gestão de dados, incluindo modelos de gestão de dados, aspectos de garantia e controlo de qualidade, licenciamento de dados e interoperabilidade

EPA Austrália (2000). **Directrizes para a amostragem de águas subterrâneas**. Southbank Victoria, Austrália. Disponível em: https://www.epa.vic.gov.au/~/media/Publications/669.pdf
Estas Orientações de Boas Práticas para a Política de Gestão de Dados sobre a Água foram preparadas para ajudar os funcionários responsáveis pela formulação e implementação da estratégia governamental para melhorar a informação sobre a água, com o objectivo de fazer avançar a política, o planeamento, a gestão e as operações no domínio da água. As directrizes descrevem as várias utilizações de alto valor dos dados sobre a água e identificam sete elementos de boas práticas na gestão de dados sobre a água. Estes incluem (1) a identificação dos objectivos prioritários da gestão da água, (2) o reforço das instituições de dados sobre a água, (3) o estabelecimento de sistemas de monitorização de dados sobre a água, (4) a adopção de normas de dados sobre a água, (5) a adopção de uma abordagem aberta ao acesso e licenciamento de dados sobre a água, (6) a implementação de sistemas eficazes de informação sobre dados sobre a água e (7) o emprego de processos de gestão da qualidade dos dados sobre a água.

SADC GROUNDWATER MANAGEMENT INSTITUTE
Institute for Groundwater Studies Building
Dean Street, University of the Free State
205 Nelson Mandela Drive,
Bloemfontein, 9300
South Africa
E-mail info@sadc-gmi.org **Website www.sadc-gmi.org**

GROUNDWATER MANAGEMENT INSTITUTE

igrac

UFS UV