

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

RELATÓRIO DE VIAGEM AO EXTERIOR

Viena, Áustria



Estágio de pesquisa – doutorado sanduíche
Agencia Internacional de Energia Atômica (AIEA)

ISADORA AUMOND KUHN

2023 - 2024

RELATÓRIO DE VIAGEM AO EXTERIOR

Estágio de pesquisa – doutorado sanduíche

Isadora Aumond Kuhn

Mai de 2024

Capa: Viena International Centre, Viena Áustria.

Sumário

INTRODUÇÃO	4
OBJETIVOS.....	4
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	5
DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	6
CONCLUSÕES.....	8
RECOMENDAÇÕES.....	8
AGRADECIMENTOS.....	9
ANEXOS	10

INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta uma síntese das atividades realizadas pela Pesquisadora Isadora Aumond Kuhn em seu estágio de doutorado sanduíche na Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), em Viena, entre abril de 2023 e março de 2024. A Pesquisadora esteve vinculada à Seção de Hidrologia Isotópica, chefiada pela Oficial Técnica (TO) Jodie Miller, subordinada ao Departamento de Ciências e Aplicações Nucleares da IAEA. Esta seção é responsável pela implementação de todas as atividades do Programa de Recursos Hídricos da AIEA, promovendo e transferindo *know-how* sobre a hidrologia isotópica como uma ferramenta eficaz para a avaliação dos recursos hídricos e gestão sustentável da água, além de fornecer assistência e formação em serviços analíticos através do seu Laboratório de Hidrologia Isotópica.

A promoção e o uso de técnicas isotópicas pela IAEA são voltados à avaliação dos recursos hídricos e gestão das águas superficiais e subterrâneas em escalas local e nacional, bem como no caso de recursos hídricos transfronteiriços partilhados. A sua atuação ocorre em sinergia com os Estados Membros, através do programa de cooperação técnica e dos Projetos de Pesquisa Coordenados, cooperação bilateral e colaboração com outras organizações internacionais. Desta forma, o fortalecimento e promoção da auto-suficiência dos Estados Membros no uso da hidrologia isotópica é um dos objetivos principais da instituição, cooperando com a melhoria da capacidade analítica em relação à hidrologia isotópica.

A Seção de Hidrologia Isotópica mantém as redes globais de dados isotópicos para estudos de hidrologia e clima, incluindo a Rede Global de Isótopos em Precipitação (GNIP) e a Rede Global de Isótopos em Rios (GNIR), iniciativas sobre as quais o SGB é o responsável nacional pela expansão e manutenção. No campo das aplicações de radioisótopos, a Seção utiliza, entre outros traçadores, os radioisótopos naturalmente ocorrentes de hidrogênio (trítio), carbono (carbono-14) e gases nobres (hélio-3, hélio-4 e criptônio-81) para ajudar os Estados Membros a avaliar e gerir melhor os seus recursos hídricos de rios e aquíferos.

Em 2021 o SGB foi designado Centro Colaborativo da IAEA através de acordo firmado entre as partes, instituindo uma parceria na implementação de atividades isotópicas relacionadas aos recursos hídricos. Desde então, mais de 05 pesquisadores estiveram na sede da IAEA em Viena recebendo treinamento e participando de eventos, foi assinado um acordo de cooperação técnica com repasse financeiro na modalidade de instrumentação e capacitação técnica, três projetos de pesquisa coordenados foram iniciados para estudo do Sistema Aquífero Guarani e, em 2023, o primeiro estágio de pesquisa foi realizado. Este relatório apresenta os objetivos do estágio, o programa, as atividades realizadas, as conclusões obtidas através desta experiência e algumas recomendações para que o SGB, através do Programa Nacional de Aplicações Isotópicas na Hidrologia, siga trilhando um caminho de protagonismo no cenário nacional e internacional nas aplicações isotópicas no ciclo hidrológico.

OBJETIVOS

O estágio de pesquisa objetivou aprofundar a qualificação da pesquisadora nos temas de aplicações isotópicas no ciclo hidrológico, agregando valor aos projetos internos do SGB e à tese em curso junto à Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Objetivou-se também adquirir experiência sobre as políticas, estratégias e métodos de pesquisa adotados pela IAEA, reforçando as relações institucionais e ampliando a capacidade técnica do SGB.

Objetivos específicos:

- Aperfeiçoamento de conhecimentos sobre aplicações isotópicas na hidrologia e expandir o ferramental metodológico técnico do SGB nesta área;

- Acompanhamento do recebimento e análise das amostras de água subterrânea coletadas no âmbito da tese em curso no Sistema Aquífero Guarani (SAG), para determinação de suas idades através de isótopos de gases nobres (^4He e ^{81}Kr), ^{14}C e ^3H (trítio);
- Aprendizagem das técnicas de modelagem matemática dos dados e geração de idades e discussão dos dados da tese com pesquisadores da IAEA e elaboração de artigos científicos;
- Ter acesso e adquirir proficiência no uso dos equipamentos de medição portátil de gases nobres (Rad7 e MiniRUEDI) e elaborar um protocolo de uso do mesmo – cabe ressaltar que o SBG possui um Rad7 e tem em andamento o processo de aquisição do MiniRUEDI através de projeto de cooperação técnica com a IAEA;
- Participação em cursos oferecidos pela IAEA aos estados membros;
- Participação nas reuniões de pesquisa coordenadas e reuniões de consultoria promovidos pela seção de hidrologia isotópica;

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

- Participação na 2ª Reunião de Pesquisa Coordenada "Compreensão da Importância dos Eventos de Chuva Convectiva e Rastreamento de Seu Impacto na Bacia Hidrográfica com Isótopos" (EVT2205133), com participação no *workshop* sobre análise de radônio *in situ* apresentado por Michel Schubert (Helmholtz Centre for Environmental Research, Leipzig Alemanha) - Viena, Abril/2023.
- Participação na reunião de consultoria "Abordagens para Integração de Idades de Água Subterrânea Baseadas em Isótopos na Modelagem de Águas Subterrâneas" (F3-CS-2301761), organizada por Takuya Matsumoto. Viena, Maio/2023.
- Participação no curso de treinamento "O Uso dos Gases Nobres em Estudos Hidrológicos", partes 1 e 2 (EVT2205138) (Maio e Outubro/2023)
- Qualificação do doutorado (apresentação em sala virtual - junho/2023)
- Participação no Simpósio sobre Hidrologia Isotópica com apresentação oral de trabalho e presidência de sessão. Este é o maior evento científico mundial sobre o tema, promovido pela IAEA entre os dias 3 a 7 de julho de 2023, em Viena;
- Treinamento informal sobre o uso de analisadores de gases nobres *in situ* (MiniRuedi e Rad7) com o especialista do laboratório de Hidrologia Isotópica (Takuya Matsumoto e Lucia Ortega). (maio a setembro/2023)
- Participação na Conferência Geral das Nações Unidas (25 a 29 de setembro de 2023 em Viena)
- Participação no 50º Congresso Internacional da Associação Internacional de Hidrogeólogos (IAH), com apresentação de pôster e co-organização de excursão de campo sobre análise de gases nobres *in situ* em banhados (Setembro/2023) – África do Sul – 17 a 23 de setembro de 2023;
- Seleção de locais de amostragem para projeto do Programa de Hidrologia Isotópica em parceria com a IAEA (CRP 24759) (Setembro - outubro/2023)
- Participação no curso de treinamento "Modelagem da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas" (EVT2205147) – Viena, setembro/2023.
- Participação na 2ª Reunião de Coordenação de Pesquisa "Avaliação Isotópica dos Impactos das Mudanças Climáticas e Hidrológicas nas Interações dos Ecossistemas Aquáticos de Águas Subterrâneas" (F33027) – Viena, outubro/2023.

- Participação da 1ª Reunião de Coordenação de Pesquisa “*Tritium and Noble Gases for Pollution Vulnerability Assessment of Shallow Aquifers*”, que contou com a participação de Kip Solomon (University of Utah, EUA).
- Gerenciamento do envio de amostras para o projeto de pesquisa coordenada sobre datação do SAG através de radioisótopos de longa meia-vida. (Dezembro - Janeiro/2023)
- Participação em reuniões mensais com a equipe do SGB sobre atividades relacionadas ao projeto de pesquisa “Avaliação de Técnicas Multitraçadores na Compreensão da Dinâmica da Água nas Zonas Úmidas de afluentes do Rio Tietê Brasil”, do Programa Nacional de Aplicações Isotópicas na Hidrologia.
- Participação de Curso de Elaboração Estratégica de Projetos com ênfase no polimento da proposta do SGB (Avaliação de Técnicas Multitraçadores na Compreensão da Dinâmica da Água nas Zonas Úmidas de afluentes do Rio Tietê Brasil) para o setor de Cooperação Técnica da IAEA.
- Elaboração de um guia de campo para o uso de equipamentos portáteis de gases nobres (MiniRuedi e Rad7)
- Articulação, junto à IAEA, da missão de esperto para coleta de amostras com o extrator de gás para o projeto de datação de águas muito antigas do SAG, do Programa Nacional de Aplicações Isotópicas na Hidrologia.
- Submissão e aprovação de novo projeto de pesquisa “Integrando Radionuclídeos de Longa Vida em Modelos Conceituais e Numéricos para o Sistema Aquífero Guarani” junto à IAEA para modelamento hidrogeológico do SAG, com acoplamento de dados isotópicos já disponíveis.
- Publicação do artigo “*Unravelling recharge mechanisms along the Guarani aquifer system (SAG) outcrop in southern Brazil.*”, na revista *Environmental Earth Sciences*.
- Submissão de resumo para o congresso da IAH 2024, em co-autoria com Lucia Ortega (supervisora) e o orientador Prof Pedro Antonio Reginato. (Fevereiro/2024)

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

A Pesquisadora esteve vinculada à Seção de Hidrologia Isotópica, chefiada pela Oficial Técnica (TO) Jodie Miller, subordinada ao Departamento de Ciências e Aplicações Nucleares. A Pesquisadora foi recebida pela TO Lucía Ortega, que foi responsável pela supervisão e acompanhamento do estágio sanduíche. Lucía Ortega era responsável pela gestão e implementação de atividades de pesquisa e desenvolvimento de capacidades analíticas dos estados membros da América Latina.

O estágio de pesquisa consistia de carga horária semanal de 40h, com controle de frequência. As atividades ocorreram no Centro Internacional de Viena (VIC), complexo da Organização das Nações Unidas, onde está hospedada a IAEA. Dentro deste complexo está localizado o Laboratório de Hidrologia Isotópica, pertencente à Seção. O laboratório é chefiado por Jennifer McKay e conta com diversas facilidades analíticas para análises isotópicas em água.

Devido à característica internacional, de fomento e inovação da instituição, o estágio de pesquisa na IAEA possibilitou a troca de experiências com inúmeros pesquisadores, estudantes e grandes referências da área de hidrologia isotópica, bem como a atualização sobre as abordagens mais modernas e os temas de fronteira. Eventos e reuniões científicas ocorrem frequentemente na IAEA, com participação de pesquisadores e estudantes de todas as áreas do globo, e o acesso às atividades é livre para os participantes do programa de estágio.

As atividades consistiram na participação em treinamentos, reuniões de consultoria, eventos científicos e livre acesso às reuniões de pesquisa coordenada e ao laboratório de

hidrologia isotópica. A Pesquisadora frequentou com assiduidade o laboratório, acompanhando a extração de gases nobres das amostras coletadas no SAG, recebendo treinamentos nas análises de gases nobres e radônio, preparando materiais para as coletas realizadas pelo SGB e acompanhando as visitas guiadas, adquirindo familiaridade com os equipamentos e seu funcionamento básico.

Juntamente com os demais TO da Seção, referências mundiais sobre aplicações isotópicas na água subterrânea (ex Stephan Terzer, Luis Araguás, Takuya Matsumoto, Lucía Ortega), a Pesquisadora discutiu e analisou os resultados de isótopos estáveis obtidos das coletas do SAG – projeto de tese e projeto do Programa Nacional de Aplicações Isotópicas do SGB - e atuou na seleção dos poços e procedimentos de coleta para gases nobres e radiocarbono. Recebeu treinamento de Lucia Ortega sobre a aplicação de modelos de mistura baseado na suposição de *end-members* (EMMA), tema que irá compor o segundo artigo da tese de doutorado, reportando a aplicação do modelo EMMA para o bloco sul do SAG, incluindo análises realizadas por Ortega no nordeste da Argentina.

Dentre as atividades que a Pesquisadora participou, ressalta-se o 50º Congresso internacional de Hidrologia Isotópica, principal evento da área e que reúne as principais referências mundiais. Participaram deste evento também a Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial, Alice Castilhos, e o Coordenador Nacional do Programa de Aplicações Isotópicas na Hidrologia, Roberto Kirchheim. Neste evento, grande enfoque foi dado à aplicação de gases nobres em estudos hidrológicos, tema que tem sido amplamente fomentado pela IAEA.

A Pesquisadora apresentou um trabalho oral intitulado “Séries temporais de nível de água subterrânea e sua correlação com isótopos estáveis na área de afloramento sul do Sistema Aquífero Guarani”, que faz parte da sua tese de doutorado e conta com a análise das séries históricas de nível da água dos poços de monitoramento da RIMAS na área de afloramento do SAG no sul do Brasil e atuou como presidente da sessão 5 “Avanço nas aplicações de gases nobres para datação de água subterrânea”, juntamente com Kip Solomon (Universidade de Utah, EUA). Nesta oportunidade, pesquisadores como Ricardo Sanchez (University of Texas at Arlington, EUA) e José Corcho (Laboratório Spiez, Suíça) demonstraram interesse nas pesquisas que estão sendo desenvolvidas pelo SGB e se colocaram à disposição para o estabelecimento de parcerias.

Além das atividades e eventos ocorridos na IAEA, a Pesquisadora participou como co-organizadora de uma excursão de campo sobre medição de gases nobres *in situ* no 50º Congresso da Associação Internacional de Hidrogeólogos (IAH), em Cape Town, África do Sul. A Pesquisadora apresentou em uma oficina em campo, juntamente com Jared van Rooyen (EAWAG – Suíça), a operação do MiniRUEDI para estudos em áreas de banhado. Neste congresso, a Pesquisadora apresentou um pôster e cooperou na organização dos eventos promovidos pelo grupo de jovens profissionais da IAH (ECHN).

Outra atividade desenvolvida fora das dependências da IAEA foi a 2ª reunião de pesquisa coordenada (RCM) do projeto de pesquisa coordenado (CRP) “Avaliação Isotópica dos Impactos das Mudanças Climáticas e Hidrológicas nas Interações de Ecossistemas banhados-águas subterrâneas”, realizado no Centro Helênico de Pesquisas Marinhas, em Atenas, Grécia. O SGB tem um projeto de pesquisa abrigado sobre este CRP, “Avaliação de Técnicas Multitraçadores na Compreensão da Dinâmica da Água nas Zonas Úmidas de afluentes do Rio Tietê Brasil”, e foi apresentado pelo Pesquisador Albert Cardoso. A Pesquisadora participou como monitora das atividades, auxiliando a supervisora Lucia Ortega, e ministrou um treinamento em campo sobre uso do MiniRUEDI para estudos em áreas de banhado.

Estabeleceu parceria com o pesquisador Daniel Martinez (Universidade de Mar del Plata, Argentina) e articulou com a IAEA uma missão de esperto – a ser financiada pelo projeto

de Cooperação Técnica da IAEA - para a cessão do extrator de gás e acompanhamento na campanha de coleta de amostras para ^{81}Kr , uma vez que a análise faz parte do projeto sobre datação de águas antigas do SAG, do Programa Nacional de Aplicações Isotópicas na Hidrologia. Este equipamento, atualmente, encontra-se indisponível no Brasil.

Paralelamente às atividades da IAEA, a Pesquisadora manteve envolvimento direto com as atividades do Programa Nacional de Aplicações Isotópicas na Hidrologia, do SGB, participando de reuniões periódicas com a coordenação e demais colaboradores, elaborando estratégias para o programa e auxiliando e aconselhando os projetos. Além disto, a Pesquisadora apresentou e foi aprovada em sua qualificação de doutorado e teve o primeiro artigo, chamado “*Unravelling recharge mechanisms along the Guarani Aquifer System (SAG) outcrop in Southern Brazil*”, publicado na revista científica *Environmental Earth Science* (Qualis CAPES A2).

CONCLUSÕES

O estágio de pesquisa na IAEA foi de extrema importância para o aprofundamento dos conhecimentos da Pesquisadora, criando novos *insights* sobre as aplicações isotópicas no cenário brasileiro e sobre mecanismos de cooperação internacional. Além disto, resultou no fortalecimento das relações institucionais com a IAEA e outros organismos de pesquisa estrangeiros, configurando-se iniciativa de grande relevância para a manutenção da posição de vanguarda do SGB em aplicações isotópicas na hidrologia no contexto brasileiro e para a ampliação do ferramental técnico e metodológico da instituição.

Com relação a cooperação com a IAEA, cabe mencionar que a mesma está direcionando grandes esforços e lançará, em 2024, uma rede global de laboratórios – Glowlab - cujo objetivo é capacitar os Estados Membros a gerar seus próprios dados químicos, biológicos e isotópicos sobre a água e permitir que eles usem os dados de forma inovadora e prática, com fim de contribuir diretamente para o gerenciamento nacional da água. Esta iniciativa ocorre em momento extremamente oportuno para o SGB, em sincronia com o desenvolvimento das capacidades analíticas do Programa Nacional de Aplicações Isotópicas, assim como com a criação do laboratório de geoquímica (lato senso) de referência; com a compra do primeiro analisador a laser para isótopos estáveis e o medidor portátil de radônio; além da aquisição em andamento do medidor portátil de gases nobres através de projeto de cooperação técnica com a IAEA. Este equipamento será o primeiro disponível na América Latina e a Pesquisadora recebeu treinamento para seu uso e interpretação dos resultados.

Apesar de estar cumprindo carga horário imposta pela instituição hospedeira do estágio doutoral e atendendo as demandas científicas da referida instituição, é importante destacar os inúmeros momentos de interação, articulação e alinhamento no SGB. Foram inúmeras horas de dedicação às atividades do Programa de Aplicações Isotópicas na Hidrologia, fortalecendo o vínculo da pesquisadora com a coordenação do programa, evidenciando comprometimento e apoio complementar às ações do SGB no Brasil.

RECOMENDAÇÕES

A cooperação entre o SGB e a AIEA é um caminho de ganhos mútuos e o SGB pode se beneficiar grandemente deste apoio, com diversas possibilidades de capacitação, instrumentação e apoio a projetos técnicos e científicos. Desta forma, sugere-se:

- O SGB precisa seguir investindo em capacitação técnica e em instrumentação.
- É importante que o Programa de Isotopia Aplicada a Hidrologia no âmbito da DHT do SGB siga recebendo recursos financeiros que garantam as missões de campo necessárias para as coletas de amostras para análises isotópicas. É importante salientar que esta se

configura a principal contrapartida aos projetos submetidos à IAEA, que confia na capilaridade do SGB e na excelência do corpo técnico.

- A partir do conhecimento adquirido ao longo do ano, aconselha-se que os estudos executados pelo SGB em hidrogeologia adotem, sempre que possível, o conceito de multi-traçadores;
- Aconselha-se que o laboratório de geoquímica (lato senso) de referência que está sendo instalado, através do Programa Nacional de Aplicações Isotópicas, esteja inserido na rede global de intercomparação, a fim de garantir a qualidade dos dados gerados;
- Aconselha-se que o SGB trabalhe em cooperação com as instituições pares, como universidades, CNEN e IPEN, a fim de explorar as múltiplas competências já existentes e desenvolver a hidrologia isotópica no Brasil com eficiência e estratégia.
- Aconselha-se que o SGB siga incentivando e explorando a aplicação de gases nobres nos demais aquíferos brasileiros, superando os limites do SAG.
- Aconselha-se que o SGB estimule os pesquisadores pós-graduandos a realizar estágios ou outra modalidade de estância no exterior. Além do ganho técnico, a experiência em outra instituição é enriquecedora e traz novos olhares sobre o modo de organização institucional, de produção e divulgação de conhecimento geocientífico.
- O alinhamento e comprometimento com as ações estratégicas em curso no Brasil e as ações de apoio ao grupo de pesquisadores no Brasil, com os inúmeros momentos de reuniões virtuais com a equipe nacional, deve ser tomado como uma referência a seguir. Trata-se de uma forma de garantir que o empregado que está em período de liberação esteja em sinergia com os programas nacionais, com manutenção de foco alinhado com estratégias nacionais, além de ser uma forma de criar caminhos institucionais que garantam um retorno fluído e menos traumático ao ambiente de trabalho

AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio recebido pelo SGB, pela liberação das atividades laborais pelo período do estágio, com menção ao Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial (GEHITE-PA), Franco Buffon; Superintendência Regional (SUREG-PA); e Gerência Nacional (DHT, na pessoa de Alice Castilhos, com quem tive a honra de participar do Simpósio de Hidrologia Isotópica). Faço menção especial de agradecimento à coordenação nacional do Programa Nacional de Aplicações Isotópicas na Hidrologia – Roberto Kirchheim e Andrea Franzini - que tem atuado de maneira efetiva e exitosa, participando ativamente em todas as etapas deste estágio. Agradeço aos meus colegas da GEHITE-PA por terem tomado conta dos projetos durante meu afastamento. Agradeço a oportunidade oferecida pela IAEA e a ótima recepção e os ensinamentos recebidos pela supervisora de estágio, Lucia Ortega. Foi uma experiência incrível e tenho certeza que retorno ao SGB com uma bagagem de experiências, cultura e ciência incomensuravelmente maior do que quando saí.



International Atomic Energy Agency
Department of Nuclear Sciences and Applications
Isotope Hydrology Section

Certificate of Completion

Ms Isadora Aumond KUHN

Participated as attendee at the Consultancy Meeting

Approaches for Integration of Isotope-Based Groundwater Ages into Groundwater Modelling

(Conducted by Takuya Matsumoto)

7 - 9 June 2023

at the IAEA Headquarters in Vienna, Austria

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jodie Miller".

Jodie Miller

Head, Isotope Hydrology Section

Certificate of Completion

Ms Isadora Aumond KUHN

Participated as speaker and session chair at the

50th International Symposium on Isotope Hydrology

3 – 7 July 2023

at the IAEA Headquarters in Vienna, Austria



Jodie Miller

Head, Isotope Hydrology Section

Certificate of Completion

Ms Isadora Aumond KUHN

Completed the training course on

Groundwater Vulnerability Modelling

(Conducted by Joel Edwin Podgorski)

28-31 August 2023

at the IAEA Headquarters in Vienna, Austria



f 1 Jodie Miller

Hc.II, Isotope Hydrology Section

Certificate of Participation

Ms Isadora Aumond KUHN

Participated as attendee at the Research Coordination Meeting of

**Isotopic assessment of the impacts of
climatic and hydrological changes on
wetland-groundwater ecosystem interactions**

(conducted by Lucia Ortega)

16 – 19 October 2023

at the Hellenic Centre for Marine Research
Athens, Greece



Jodie Miller

Hc:II, Isotope Hydrology Section



Figura 1: Pesquisadora do SGB dando o treinamento sobre uso do MiniRUEDI em excursão de campo na área de banhado Schinias, nas imediações de Atenas. Segundo encontro do CRP dobre banhados, outubro de 2023.



Figura 2: Equipe organizadora da excursão de campo na área de banhado e estuarina do Western Cape, na África do Sul, durante o congresso da IAH, em setembro 2023.



Figura 3: Grupo do treinamento sobre modelamento espacial de vulnerabilidade de aquíferos, na IAEA, ministrado por Joel Podgorski (EAWAG, Suíça).



Figura 4: Atuação como Presidente da Sessão 5: “Avanço nas aplicações de gases nobres para datação de água subterrânea”, no Simpósio Internacional de Hidrologia Isotópica.

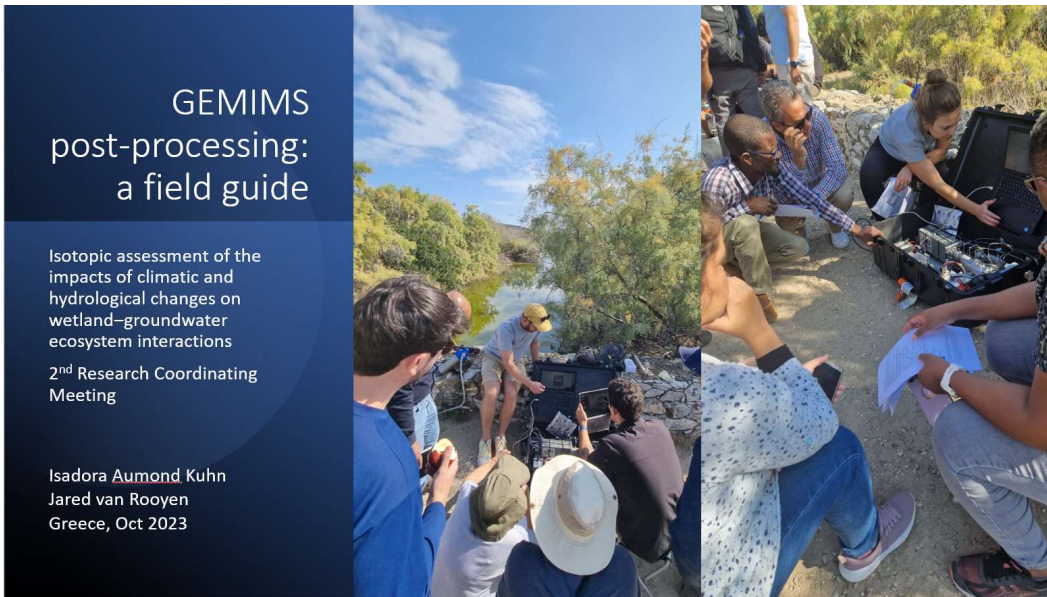


Figura 5: Apresentação sobre o tratamento dos dados de campo obtidos com o MiniRUEDI, apresentada durante o encontro em Atenas.



Figura 6: Atividades de campo com MiniRUEDI (esquerda) e Rad7 (direita).

Environmental Earth Sciences (2024) 83:173
<https://doi.org/10.1007/s12665-024-11495-4>

ORIGINAL ARTICLE



Unravelling recharge mechanisms along the Guarani aquifer system (SAG) outcrop in southern Brazil

Isadora Aumond Kuhn^{1,2} · Pedro Antônio Roehe Reginato² · Jared van Rooyen^{3,4} · Roberto Eduardo Kirchheim¹

Received: 8 September 2023 / Accepted: 6 February 2024
 © The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2024

Abstract

Understanding recharge is an important step in quantifying the sustainability and vulnerability of the groundwater reserve and promoting the adequate implementation of management policies. In southern Brazil, the Guarani Aquifer System (SAG) is increasingly utilised as a source of water for both rural and urban populations and agricultural activities. Being 90% confined, the regional SAG outcrop zones are generally considered the recharge areas, yet local recharge mechanics have yet to be constrained. Water table time series data over a 2-year period from 21 monitoring wells in the southern outcrop zone were investigated to assess the local recharge of the SAG. Recharge estimates calculated using the water table fluctuation (WTF) method were compared to the time series data in terms of auto- and cross-correlation factors. In turn, alluding to the memory effect of the water table that is controlled by the flow pathways to the well and its response to local rainfall events, it is apparent that the local conditions strongly affect water percolating through the unsaturated zone, with evidence of both matrix and preferential flow pathways feeding the monitoring sites. Matrix flow is broadly occurring within the study area, and preferential flow has a more restricted occurrence yet is associated with the highest rate of recharge. Although future studies may quantify the actual recharge amount related to each mechanism, this work explicitly shows that preferential flow mechanisms should not be ignored, providing insight into aquifer sustainability and its vulnerability to modern contaminants.

Keywords Guarani aquifer system · Groundwater recharge · Recharge mechanisms · Time series analysis

Figura 7: Artigo científico publicado, como primeiro produto da tese de doutorado.