

# RESSALVA

Atendendo solicitação da autora,  
o texto completo desta tese será  
disponibilizado somente a partir  
de 22/04/2023.



**PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO  
EM GEOCIÊNCIAS  
E MEIO AMBIENTE**

---

**ANÁLISE GEOFÍSICA E HIDROGEOLÓGICA DE ÁREA  
ÚMIDA NA DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA  
(MUNICÍPIO DE ARARAS-SP)**

Fernanda Teles Gomes Rosa

---

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

Análise Geofísica e Hidrogeológica de Área Úmida na Depressão  
Periférica Paulista (município de Araras-SP)

Fernanda Teles Gomes Rosa

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geociências.

Rio Claro (SP)  
2022

R788a Rosa, Fernanda Teles Gomes  
Avaliação geofísica e hidrogeológica de área úmida na  
depressão periférica paulista (município de Araras-SP) /  
Fernanda Teles Gomes Rosa. -- Rio Claro, 2022  
142 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista  
(Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio  
Claro  
Orientador: Cesar Augusto Moreira

1. Geofísica. 2. Área úmida. 3. Recarga. 4. Aquíferos. 5.  
Hidrogeologia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo  
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

FERNANDA TELES GOMES ROSA

Análise Geofísica e Hidrogeológica de Área Úmida na Depressão  
Periférica Paulista (município de Araras-SP)

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geociências.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Cesar Augusto Moreira

IGCE / UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Marco Antônio Fontoura Hansen

UNIPAMPA / Bagé (RS)

Prof. Dr. Vagner Roberto Elis

IAG / USP/São Paulo (SP)

Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen

IGCE / UNESP/Rio Claro (SP)

Profa. Dra. Lena Simone Barata Souza

IGEO / UFRR/Boa Vista (RR)

Rio Claro, 22 de abril de 2022

## **A G R A D E C I M E N T O S**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por dar apoio financeiro para a realização de pesquisa no Brasil. À UNESP, Universidade da qual a pesquisa pode ser desenvolvida por intermédio de grandes profissionais que ali trabalham, à Rosângela da secretaria e a todos os demais servidores que realizaram seu trabalho e proporcionaram um espaço digno para nosso estudo.

Ao professor Dr. César Augusto Moreira, pela paciência, pelo estímulo à pesquisa e desenvolvimento, por acreditar e desenvolver os estudos geofísicos na região.

Aos meus colegas de trabalho que foram a campo e trabalharam arduamente para que cada dado fosse adquirido com todo critério e respeito ao planejamento de aquisição, em especial a Matheus Casagrande, Renata Bovi e Giulia, por estarem em todas as aquisições de dados, e mesmo com tantas tarefas, abriram espaço em suas agendas e realizaram o melhor.

Aos meus pais, Helio e Rita que são de fato as pessoas das quais eu realmente sou grata por ser e por estar. Por proporcionarem toda estrutura e apoio para que eu pudesse estudar o quanto eu quisesse. Ao meu companheiro André, por todo incentivo, paciência e gentileza, por suas idas a campo e à sua família, sempre presente e prestativa as minhas necessidades.

Às minhas amigas e amigos que ao longo de toda a minha trajetória que foram e são importantes. Pois, fazer parte das estatísticas baixa de ensino inteiramente público, e conquistar o título maior na academia, me deixa imensamente feliz e grata.

“Temos um grande problema se não entendermos  
qual planeta devemos salvar”

Carl Sagan

## RESUMO

Áreas úmidas isoladas são ecossistemas permanentemente ou periodicamente inundados, de relevância ecológica e para a conservação dos recursos hídricos devido à sua conectividade com aquíferos (recarga) e drenagens (descarga). Para compreender a função destas áreas no ciclo hidrológico e avaliar a dinâmica de fluxo da água em área úmida com grande influência antrópica, foram utilizados os métodos indiretos de geofísica como a gamaespectrometria e tomografia elétrica, além de medidas diretas do parâmetro de condutividade hidráulica e realização de posterior análise da distribuição e tipo de cobertura vegetal em uma área úmida no município de Araras-SP. Este trabalho teve por objetivo a análise do comportamento hidrogeológico desta área úmida, com fins de determinar na superfície os principais pontos de infiltração e a correlação com o comportamento hidrogeológico em subsuperfície, suportados por aquisições diretas de condutividade hidráulica no solo, dados da presença de radioelementos como  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$ . Foi realizado em conjunto, a análise comparativa entre os dados de tomografia elétrica adquiridos por meio dos arranjos Schlumberger, Wenner e dipolo-dipolo relativos a leituras de resistividade elétrica, para desta forma avaliar o arranjo que melhor representa a realidade em termos de solo, rocha e a dinâmica de fluxo entre os mesmos. Os resultados apontam a existência de uma estrutura de acesso e recarga direta ao aquífero regional (Sistema Aquífero Tubarão), que apresenta baixos valores de resistividade  $>100 \Omega.m$  no solo e saprolito em subsuperfície caracterizada como um caminho preferencial localizado no centro da área úmida, que torna evidente o arraste geoquímico de urânio e tório neste caminho. Os resultados em análise integrada permitiam determinar os caminhos preferenciais de recarga do aquífero e proporcionaram a criação de um modelo hidrogeológico estimado para os períodos de chuvas e estiagem, com evidência de funcionalidade da área úmida como área de recarga d'água e a distribuição de radioelementos. A comparação entre os arranjos de tomografia elétrica destaca a disposição de eletrodos na configuração Schlumberger possibilitou a melhor correlação, possivelmente pelo predomínio de fluxo de campo potencial elétrico horizontalizados, ótima relação sinal/ruído e capacidade de discriminação de estruturas de fluxo verticais.

Palavras-chave: aquíferos, recarga, tomografia elétrica, gamaespectrometria,



## ABSTRACT

Isolated wetlands are ecosystems that are permanently or periodically flooded, of ecological relevance, and for the conservation of water resources due to their connectivity with aquifers (recharge) and drainage (discharge). To understand the function of these areas in the hydrological cycle and to evaluate the dynamics of water flow in a wetland with great anthropic influence, indirect methods of geophysics such as gamma spectrometry and electrical tomography were used, in addition to direct measurements of the hydraulic conductivity parameter and realization for further analysis of the distribution and type of vegetation cover in a wetland in the city of Araras-SP. The objective of this work was to analyze the hydrogeological behavior of this wetland, to determine the main infiltration points on the surface, and the correlation with the hydrological behavior in the subsurface, supported by direct acquisitions of hydraulic conductivity in the soil, data on the presence of radioelement  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$ . A comparative analysis was carried out between the electrical tomography data acquired through the Schlumberger, Wenner, and dipole-dipole arrays related to electrical resistivity readings, to evaluate the array that best represents the reality in terms of soil, rock, and soil the flow dynamics between them. The results point to the existence of a structure of access and direct recharge to the regional aquifer (Tubarão Aquifer System), which presents low resistivity values  $>100 \Omega\cdot\text{m}$  in the soil and subsurface saprolite characterized as a preferential path located in the center of the wetland, which makes evident the geochemical carryover of uranium and thorium in this path. The results of the integrated analysis allowed the determination of the preferred aquifer recharge paths and provided the creation of an estimated hydrogeological model for the rainy and dry periods, with evidence of the wetland functionality as a water recharge area and the distribution of radioelements. The comparison between the electrical tomography arrays highlights the arrangement of electrodes in the Schlumberger configuration allowed the best correlation, possibly due to the predominance of horizontal electric potential field flux, excellent signal-to-noise ratio, and ability to discriminate vertical flux structures.

Keywords: aquifers, recharge, electrical tomography, gamma spectrometry

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Posição das áreas úmidas em relação à superfície freática a) acima da superfície freática; b) abaixo da superfície freática e; c) área de recarga e descarga (fluxo) 22
- Figura 2 - Diferentes espécies vegetativas em áreas úmidas de acordo com nível da água 23
- Figura 3 - Modelos de inversão gerados para a área estudada a) Resultados de inversão 2D e; b) Interpretação dos dados ..... 26
- Figura 4 - Medidas de resistividade ao longo da linha para oito tempos diferentes, localizadas no Prado Norte e Sul ..... 27
- Figura 5 - Mapas de classificação de cobertura do solo nos anos referentes de: a) 1975; b) 1988; c) 1996 e d) 2002 ..... 28
- Figura 6 - Modelo hidrogeológico conceitual para área úmida em diferentes épocas do ano a) estação seca e; b) estação chuvosa ..... 29
- Figura 7 - Perspectiva da situação hídrica em diferentes anos a) situação atual, b) após 20 anos, c) após 40 anos e d) após 80 anos ..... 30
- Figura 8 - Modelo de caminho de fluxo de água. O detalhe mostra o fluxo de água por meio de fraturas ..... 31
- Figura 9 - Mapa de superfície de condutividade hidráulica, com a localização dos perfis do solo, e mapas de resistividade elétrica para profundidades de 2 m, 4 m e 9 m ..... 32
- Figura 10 - Mapa de localização, com destaque para o município de Araras e a área úmida estudada ..... 33
- Figura 11 - Perfil geomorfológico esquemático do estado de São Paulo ..... 39
- Figura 12 - Localização das drenagens na Bacia Hidrográfica do rio Mogi Guaçu a) Drenagens presentes na UGHRI 9 b) Recorte das drenagens presentes no município de Araras-SP ..... 41
- Figura 13 - Dados relativos ao volume de chuvas precipitadas no município de Araras-SP ao longo dos meses no decorrer de 2017 a 2021 ..... 42
- Figura 14 - Perfil dos aquíferos presentes nos estados de São Paulo e do Paraná ..... 43
- Figura 15 - Mapa de localização dos poços de água cadastrados na plataforma SIAGAS-CPRM próximos a área úmida estudada destacada em vermelho ..... 44
- Figura 16 - Cálculo da área da área úmida em diferentes meses ao longo dos anos de 2009 e 2020 a) junho/2020 b) maio/2020 c) junho 2013 d) março/2009 ..... 47
- Figura 17 - Maquinário utilizado em campo para injeção de insumos no solo ..... 48

Figura 18 - Classificação ambiental e toxicológica dos registros de insumos para cultivo de cana-de-açúcar. ....	51
Figura 19 - Séries radioativas de decaimentos dos elementos de $^{40}\text{K}$ , $^{238}\text{U}$ e $^{232}\text{Th}$ .....	56
Figura 20 - Distribuição teórica média de radioelementos presentes nas rochas .....	57
Figura 21 - Perfis de distribuição de radioelementos em solos, perfis de intemperismo e rochas .....	58
Figura 22 - Valores médios de resposta dos radioelementos de acordo com a variação da geomorfologia .....	59
Figura 23 - Espectros de energia gama para os elementos K, eU e eTh .....	60
Figura 24 - Modelo de determinação de resistência elétrica em um fio.....	64
Figura 25 - Visualização da técnica de sondagem elétrica vertical em superfície e propagação na subsuperfície .....	66
Figura 26 - Ilustração da técnica de tomografia elétrica em aquisições na superfície e a medição na subsuperfície .....	66
Figura 27 - Fração de corrente que penetra abaixo da profundidade Z para uma determinada separação de eletrodos .....	67
Figura 28 - Disposição dos eletrodos na superfície a partir dos arranjos Schlumberger, Wenner e Dipolo-dipolo .....	69
Figura 29 - Sensibilidade dos arranjos na distribuição de corrente visto em corte a) Schlumberger b) Wenner c) Dipolo-dipolo .....	70
Figura 30 - Aquisição de dados de condutividade hidráulica a) mapa de distribuição dos pontos de aquisição; b) canos de pvc utilizados para aquisições; e c) instalação do equipamento em campo .....	72
Figura 31 - Esquema de aquisição de dados de condutividade hidráulica .....	73
Figura 32 - Aquisição de dados de gamaespectrometria a) Mapa de distribuição dos pontos de aquisição b) equipamento utilizado em campo .....	75
Figura 33 - Mapa de curvas de nível na área úmida.....	80
Figura 34 - Mapa da área úmida e locais de coletas dos dados de permeabilidade, gamaespectrometria, tradagens e linhas de tomografia elétrica.....	76
Figura 35 - Modelo de processamento de dados utilizado pelo <i>software</i> Res2Dinv com representação dos blocos com larguras iguais .....	77
Figura 36 - Mapa de superfície gerado a partir dos resultados obtidos para o parâmetro de condutividade hidráulica sobreposta a imagem de satélite .....	79
Figura 37 - Dados de $^{40}\text{K}$ sobreposto a imagem de satélite da área de estudos.....	81

Figura 38 - Dados de $^{232}\text{Th}$ sobreposto a imagem de satélite da área de estudos.....	82
Figura 39 - Dados de $^{238}\text{U}$ sobreposto a imagem de satélite da área de estudos .....	83
Figura 40 - Vegetação presente ao redor da área úmida a) vista da área úmida b) foto panorâmica da área c) estrada que corta a área d) vista de um dos pontos da área e) vista de dentro da área úmida .....	85
Figura 41 - Imagens da variação vegetativa dentro da área úmida a) Transição da vegetação b) Vegetação baixa c) Vegetação alta d) Vegetação herbácea e) Ponto de transição da vegetação f) Ponto com galhos g) Vegetação removida h) Ponto de alagamento	86
Figura 42 - Mapa de localização da área com destaque para a vegetação da área úmida ao longo dois perfis.....	87
Figura 43 - Resultados 2D para o arranjo Schlumberger, linhas 1 á 5 .....	90
Figura 44 - Resultados 2D para o arranjo Schlumberger, linhas 6 á 10 .....	91
Figura 45 - Resultados 2D para o arranjo Schlumberger, linhas 11 á 15 .....	92
Figura 46 - Resultados 2D para o arranjo Wenner, linhas 1 á 5.....	93
Figura 47 - Resultados 2D para os arranjos Wenner, linhas 6 á 10.....	94
Figura 48 - Resultados 2D para o arranjo Wenner, linhas 11 á 15.....	95
Figura 49 - Resultados 2D para o arranjo DD, linhas 1 á 5.....	96
Figura 50 - Resultados 2D para o arranjo DD, linhas 6 á 10.....	97
Figura 51 - Resultados 2D para o arranjo DD, linhas 11 á 15.....	98
Figura 52 - Correlação entre dados de tomografia elétrica e condutividade hidráulica para o arranjo Schlumberger.....	99
Figura 53 - Correlação entre dados de tomografia elétrica e condutividade hidráulica para o arranjo Wenner.....	100
Figura 54 - Correlação entre dados de tomografia elétrica e condutividade hidráulica para o arranjo Dipolo-dipolo.....	100
Figure 55 - Correlação entre dados de tomografia elétrica em arranjo SC e superfície freática .....	102
Figura 56 - Correlação entre dados de tomografia elétrica em arranjo WN e superfície freática .....	103
Figura 57 - Correlação entre dados de tomografia elétrica em arranjo DD e superfície freática .....	103

Figura 58 - Modelo geofísico-hidrogeológico de infiltração proposto para a área de estudos. Dados de período de chuvas foram inferidos a partir da análise do comportamento da área a) modelo de inversão b) modelo de estiagem c) modelo de chuvas .....	105
Figura 59 - Arranjo SC linha 4 .....	109
Figura 60 - Arranjo WN linha 4 .....	109
Figura 61 - Arranjo DD linha 4 .....	110
Figura 62 - Arranjo SC linha 5 .....	110
Figura 63 - Arranjo WN linha 5 .....	110
Figura 64 - Arranjo DD linha 5 .....	110
Figura 65 - Arranjo SC linha 7 .....	110
Figura 66 - Arranjo WN linha 7 .....	111
Figura 67 - Arranjo DD linha 7 .....	111
Figura 68 - Arranjo SC linha 8 .....	111
Figura 69 - Arranjo WN linha 8 .....	111
Figura 70 - Arranjo DD linha 8 .....	111
Figura 71 - Arranjo SC linha 11 .....	112
Figura 72 - Arranjo WN linha 11 .....	112
Figura 73 - Arranjo DD linha 11 .....	112
Figura 74 - Arranjo SC linha 12 .....	112
Figura 75 - Arranjo WN linha 12 .....	112
Figura 76 - Arranjo DD linha 12 .....	113
Figura 77 - Correlação entre dados de k e tomografia elétrica 2,5 D .....	116

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ingredientes ativos permitidos no cultivo de cana-de-açúcar e suas respectivas classes .....	49
Tabela 2 - Valores máximos permitidos ( $\mu\text{g/L}$ ) estabelecidos pelas Resoluções CONAMA 357/2005 e 396/2008 e pela Portaria MS 2.914/2011 para os agrotóxicos permitidos para uso na cultura de cana-de-açúcar no Brasil.....	50
Tabela 3 - Dados completos de condutividade hidráulica (k) .....	134

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1 - Dados da qualidade da água no municípios de Araras-SP .....45
- Quadro 2 - Distribuição do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu,  
com destaque para a região de estudos .....46
- Quadro 3 - Valores empíricos de condutividade hidráulica dos solos .....52

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Justificativa.....	17
1.2 Hipóteses .....	18
1.3 Objetivos.....	18
<b>2 ÁREAS ÚMIDAS .....</b>	<b>19</b>
2.1 Definição de Áreas Úmidas.....	19
2.2 Hidrologia de Áreas Úmidas .....	20
2.3 Pesquisas aplicadas à Áreas Úmidas .....	24
<b>3 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>33</b>
3.1 Localização.....	33
3.2 Contexto Geológico.....	35
3.2.1 Bacia Sedimentar do Paraná .....	35
3.3 Geomorfologia.....	37
3.3.1 Depressão Periférica Paulista .....	38
3.4 Hidrologia e Hidrogeologia .....	41
3.4.1 Qualidade das águas e disponibilidade hídrica.....	44
3.5 Uso e Ocupação do Solo.....	45
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>52</b>
4.1 Permeabilidade do solo.....	52
4.2 Métodos Geofísicos .....	53
4.2.1 Gamaespectrometria .....	54
4.2.2 Eletrorresistividade .....	61
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>72</b>
5.1 Permeabilidade do solo.....	72
5.2 Métodos Geofísicos .....	74
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>79</b>
6.1 Dinâmica Superficial .....	79
6.2 Hidrodinâmica da Área Úmida.....	88
6.3 Comparação entre arranjos de tomografia elétrica .....	107
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>118</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXOS A.....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXOS B.....</b>	<b>135</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país privilegiado quanto a disponibilidade de água superficial com cerca de 12% do volume mundial, embora com distribuição irregular em seu território. A maior concentração está na região norte do país, mas estados mais populosos estão concentrados nas regiões sul e sudeste e apresentam cerca de 3% deste total (ANA, 2020). As principais atividades que demandam água no país são a irrigação 52%, abastecimento industrial 9,1% e público 23,8%, bem como geração de energia 3,8%, mineração 1,6%, entre outros. (ANA, 2019). A gestão comprometida da água é um dos fatores preocupantes do século XXI, pois as consequências de diminuição comprometem a qualidade e quantidade do recurso hídrico para o abastecimento da população (TUCCI, 2009; ANA, 2020).

Devido à maior demanda pelo uso da água e à oferta ser variável ao longo do país, a procura por água subterrânea é intensificada por meio da utilização de poços de captação (BICUDO, 2011). Este cenário de aumento de demanda pelo recurso subterrâneo impõe pressões de uso nos aquíferos e fazem com que áreas de recarga sejam fundamentais para manutenção desse recurso. Ecossistemas denominados de áreas úmidas representam as inundações permanentes ou sazonais em superfície deprimidas no relevo, onde os solos permanecem saturados na superfície tempo suficiente para permitir diversos processos físicos, químicos e biológicos, muitos dos quais em ambientes anaeróbicos (McLAUGHLIN *et al.*, 2014; JUNK *et al.*, 1989). Sua função como potencial zona de recarga de aquífero torna este ambiente particularmente relevante no ciclo hidrológico e na persistência dos aquíferos em longo prazo.

Tais zonas alagadas são formadas em períodos em que a precipitação na época chuvosa ultrapassa a capacidade de drenagem do sistema e da evaporação, o que resulta em acúmulo na superfície de forma permanente ou sazonal. Embora a localização na paisagem determine a característica hidrológica do sistema, variações sazonais na taxa de precipitação e evaporação de determinada região estão intrinsicamente ligadas às mudanças de profundidade da superfície freática e, conseqüentemente, são determinantes na permanência e persistência da superfície alagada (TINER & BURKE, 1995).

Áreas úmidas antropizadas são locais onde podem ocorrer inversão ou cessamento da maioria dos processos ecológicos que deveriam estar relacionados à área úmida, bem como redução da recarga de água, devido a desvios ocasionados por atividades agrícolas e industriais,

como consequência do pouco conhecimento e compreensão dos valores destas áreas (DAVIDSON *et al.*, 1991) (SHUQUIN *et al.*, 2007).

A dinâmica hidrogeológica pode ser avaliada pontualmente por técnicas diretas e indiretas de investigação. Podem ser realizadas análises da condutividade hidráulica através de permeâmetros ou poços de monitoramento, além de técnicas indiretas de aquisição de dados como os métodos geofísicos (COSCIA *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2016; FURLAN *et al.*, 2020). Dentre os métodos geofísicos, em particular os geoeletricos e gamaespectrométricos são indicados diante dos resultados satisfatórios pela alta densidade amostral de leituras de parâmetros físicos sensíveis à dinâmica hidrogeológica e hidroquímica do ambiente (CASAGRANDE *et al.*, 2021, FURLAN *et al.*, 2021a; MOREIRA *et al.*, 2021).

A Eletrorresistividade é por vezes utilizada por meio da técnica da tomografia elétrica, para visualização bidimensional ampla do ambiente subterrâneo. O parâmetro físico da resistividade elétrica é variável no ambiente geológico de forma condicionada ao tipo de rocha, arquitetura deposicional, descontinuidades estruturais, composição mineralógica, mas essencialmente devido ao teor de umidade (REYNOLDS, 1997; MUSSET & KHAN, 2000). É empregado tanto nas pesquisas de prospecção mineral quanto na área ambiental e hidrogeologia, por vezes, em associação a poços de monitoramento, sondagens, tradagens etc. (HELENE *et al.*, 2020; MUZIRAFUTI *et al.*, 2020; SAĞIR *et al.*, 2020).

Pesquisas desenvolvidas ao longo das décadas de 1980 a 2010 abordam a relevância da configuração de eletrodos, na questão da profundidade de investigação, e, na etapa de processamento de dados de tomografia elétrica, da adição de um modelo inicial geológico e/ou estrutural para que a resposta do modelo geofísico final possa ser a mais confiável possível (BARKER, 1981; GRIFFITHS & BARKER, 1993; OLAYINKA & YARAMANCI, 2000b; SEATON & BURBEY, 2002; AIZEBEOKHAI *et al.*, 2011; ZHOU *et al.*, 2014).

O método da gamaespectrometria mede a energia gama liberada a partir do decaimento radioativo dos isótopos de urânio, tório e potássio (DENTITH & MUDGE, 2014). A determinação da variação de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  nos primeiros 30 cm de profundidade do solo pode determinar a mobilidade dos elementos e a capacidade de co-precipitação destes em determinados solos. Ainda podem auxiliar tanto na caracterização de diferentes litologias quanto na identificação de processos supérgenos como intemperismo e erosão que possam ser causadores da remoção e remobilização destes elementos a partir da desintegração de uma rocha pretérita com concentração destes elementos (DICKSON & SCOTT, 1997; WILFORD *et al.*, 1997).

A possível utilização do método gamaespectrométrico para entendimento de anomalias provocadas pela utilização intensa de fertilizantes agrícolas, que se tornam evidentes no arraste geoquímico dos radioelementos presentes em solos de textura argilosa (FERREIRA, 1991; SOUZA & FERREIRA, 2005). A conversão de áreas naturais em terras cultiváveis principalmente de monocultura e a intensificação da utilização de fertilizantes transforma o solo como as perdas de nutrientes importantes, erosão e compactação e podem causar a contaminação de sistemas hídricos. A maior disponibilidade de fertilizantes fosfatados no solo a base de radioelementos gera impactos negativos ao ecossistema e áreas úmidas de recarga podem ser locais de acúmulo e conexão destes metais pesados (MATEO-SAGASTA et al., 2018; CASAGRANDE *et al.*, 2021; FURLAN *et al.*, 2021a). A zona rural do município de Araras-SP desde a década de 1940 desenvolve a monocultura, antes com o cultivo de café e desde 1960 o cultivo ininterrupto de cana-de-açúcar.

As áreas úmidas isoladas presentes em climas tropicais podem servir como zonas de recarga direta de aquíferos. Nestes locais, a precipitação e infiltração ocorrem em taxas maiores que a evapotranspiração e perda de água superficial. A utilização de métodos geofísicos no entendimento da hidrodinâmica destes ecossistemas é cada vez mais apropriada e satisfatória para compreender a relação entre áreas úmidas, a delimitação de camadas do solo, contato solo/rocha e o desenvolvimento do intemperismo nas camadas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Áreas úmidas são ecossistemas de alta biodiversidade e extrema importância em vários serviços ecossistêmicos ao redor do planeta, haja vista que são tidas como “janelas” hídricas de aquíferos e, assim, a integridade ambiental das áreas úmidas tem o poder de influenciar, de maneira significativa, a qualidade hídrica da água subterrânea em escala regional. Assim, a compreensão da dinâmica hidrogeológica das áreas úmidas é uma etapa fundamental em ações de gerenciamento e manejo sustentável, e a geofísica é relevante como uma ferramenta amplamente utilizada em estudos hidrológicos, embora, de acordo com Greer *et al.* (2019), configura um campo pouco explorado em estudos de Zonas Críticas e que possuem certas peculiaridades quanto aos parâmetros de aquisição de dados.

Com o crescente aumento da população mundial e atrelado a este a maior demanda pelos recursos hídricos, sejam eles superficiais ou subterrâneos, pesquisas que permeiam o delineamento de áreas de recarga de aquíferos são de grande importância para o meio ambiente, para o desenvolvimento econômico e social. Para tanto, o estudo de áreas úmidas isoladas

caracterizadas por serem locais sem conexão com qualquer corpo hídrico superficial, tomam devido destaque.

## 1.2 HIPÓTESES

Nesta pesquisa é baseada em duas premissas sequenciais:

- Áreas úmidas são depressões de relevo que acumulam águas provenientes do escoamento superficial e podem servir como zonas de infiltração aceleradas e, conseqüentemente, como áreas de recarga de aquíferos.

- O uso da terra nas adjacências de áreas úmidas e o manejo de agrotóxicos e fertilizantes exercem grande influência na composição química das águas de superfície acumuladas em áreas úmidas, com impacto direta na qualidade e eventual contaminação das águas de recarga dos aquíferos.

## 1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a dinâmica hidrogeológica da área úmida como função de área de recarga para aquíferos de escala local, e evidenciar a importância deste ecossistema de alta biodiversidade.

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

- a) Estimar os principais pontos de infiltração de água no solo;
- b) Quantificar a variação dos isótopos de urânio, tório e potássio na área úmida em relação a área de cultivo de cana-de-açúcar, através do método da gamaespectrometria;
- c) Analisar a propagação de campo potencial elétrico em solo insaturado e saturado para os arranjos Schlumberger, Wenner e Dipolo-dipolo em ensaios de tomografia elétrica;
- d) Propor um modelo geofísico-hidrogeológico que represente a variação da superfície freática para a área, tanto para a época chuvosa quanto a de estiagem, através da integração das análises entre dados de permeabilidade e tomografia elétrica.

## 7 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa a aplicação do método de permeabilidade pode demonstrar a variabilidade espacial do parâmetro de condutividade hidráulica, que ocorre dentro da área úmida em relação às suas margens e ao seu redor no cultivo da cana-de-açúcar, e em termos gerais, altos valores de condutividade hidráulica, estão presentes quanto mais próximo do centro da área úmida que representam uma zona de infiltração mais rápida. Em locais com maior atividade antrópica, principalmente ao norte do mapa gerado, os valores de infiltração foram cada vez mais lentos.

As correlações entre as análises realizadas diretamente na superfície de condutividade hidráulica e gamaespectrometria com as medidas do parâmetro físico de resistividade elétrica, determinaram a variação da superfície freática em épocas de chuvas e estiagem bem como determinaram a área úmida como uma área de recarga da água superficial para a subterrânea.

A integração das análises evidencia que a atividade agrícola desenvolvida ao longo dos anos de cultivo de cana-de-açúcar e a relevante quantidade de fertilizantes fosfatados utilizados no sistema de cultivo são fatores preponderantes na análise dos resultados superficiais e diferenciais entre a área úmida e a área de cultivo agrícola. A presença de radioelementos em fertilizantes fosfatados e a visível variação destes, em relação à área úmida com a área de cultivo de cana-de-açúcar, é o indicador da saturação destes componentes no solo e caracteriza o contraste obtido pelas imagens frente ao comportamento geoquímico dos radioelementos em relação aos processos pedogenéticos e, é o indicativo de que a área seja zona de infiltração destes elementos para o aquífero profundo.

Estes resultados caracterizam esta área como zona de recarga e define dentro de uma área úmida isolada geograficamente locais principais de infiltração, influenciados pela pluviosidade local. Embora correlações entre análises realizadas diretamente na superfície como medidas diretas de condutividade hidráulica não possam ser relacionadas diretamente com os resultados geofísicos de origem mais profunda, foi possível determinar com a combinação dos métodos os fluxos principais na superfície e estimar os pontos principais de recarga do aquífero superficial para o subterrâneo.

Desta maneira, a integridade ambiental das áreas úmidas tem o poder de influenciar, de maneira significativa, a qualidade hídrica da água subterrânea em escala regional e, a compreensão da dinâmica hidrogeológica das áreas úmidas é uma etapa fundamental em ações de gerenciamento e manejo sustentável. A grande maioria das áreas úmidas brasileiras estão inseridas em meio agrícola e a devida atenção a este ecossistema é de suma importância.

Pesquisas que visem contribuir com o entendimento destes ecossistemas podem auxiliar no aumento do seu conhecimento e na melhoria do seu gerenciamento.

A comparação entre arranjos de tomografia elétrica foi essencial para apresentar maiores informações quanto a propagação de campo potencial elétrico em meio de alta saturação, em que os dados são mais escassos. Diante do exposto, o arranjo DD apresentou resultados superestimados que produziram artefatos significativos nos modelos de inversão, incoerentes com o modelo de infiltração de área úmida. O arranjo WN, por sua vez, apresentou resultados semelhantes aos do arranjo SC, porém, em um dos modelos de inversão (linha 7), os resultados 2D tiveram maior tendência à horizontalização do campo potencial elétrico e, como consequência direta, a não definição do fluxo preferencial d'água na área úmida.

Contudo, o arranjo SC foi a configuração mais compatível com o modelo hidrogeológico de recarga esperado para a área, uma vez que retrata um eixo central de infiltração com contribuições laterais do aquífero livre para o aquífero profundo (Tubarão). Portanto, é necessária uma comparação mais aprofundada entre os arranjos de disposição de eletrodos, em diferentes espaçamentos, para avaliar a adequação de seu comportamento para aplicações práticas de pesquisas.

Desta maneira, a escolha do arranjo de aquisição de dados deve levar em conta fatores fundamentais como o alvo a ser mapeado, dimensões e profundidade para que os resultados sejam confiáveis e coerentes com o modelo geológico esperado. É importante destacar que quanto maior o espaçamento entre os eletrodos, maior será a perda da resolução dos dados tanto em profundidade quanto em lateralidade.

Pesquisas que correlacionem possível interação entre águas superficiais e subterrâneas são no contexto atual dos anos 2020 escassos no Brasil, e estudos relacionados às áreas úmidas, seja em nível de gênese, classificação e evolução destas áreas, são ainda bastante limitados. Visto que, a importância de conhecer, identificar e caracterizar tais áreas seja fundamental para que novas maneiras de manejo sejam criadas e respeitadas. Para isto, é necessário que pesquisas, principalmente em território brasileiro, sejam implementadas, e faz com que a aplicação desta pesquisa seja ainda mais relevante no cenário atual. Em continuidade a esta pesquisa, é recomendado a análise destas áreas através de monitoramento de poços, análises geoquímicas de amostras de solo e hidroquímica das águas subterrâneas para determinação quantitativa dos resultados, pois conforme evidenciado nos mapas a pouca distância da área a água subterrânea que é captada.

## REFERENCIAS

ABRASCO. DOSSIÊ ABRASCO. **Um alerta sobre os impactos dos Agrotóxicos na Saúde**. 2012.

AB'SABER, A.N. Os terraços fluviais da região de São Paulo. **Anuário da Faculdade de Filosofia "Sedes Sapientiae" da Univ. Católica de São Paulo**, São Paulo, pp. 86/104, 1952/53.

AB'SABER, A. N. A terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 23, p. 5-38, 1956.

ABGE. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Ensaio de Permeabilidade em Solos: orientações para a sua execução no campo**. 4.ed. São Paulo - SP. 75f. 2013a.

ACAYABA R. D'A. Dissertação de mestrado. Ocorrência de agrotóxicos usados na cana-de-açúcar em corpos d'água do Estado de São Paulo na **Faculdade de Tecnologia- FT/ UNICAMP, em Limeira/SP**. 2017.

AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (2014).

Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/servicos-e-sistemas/sistemas/agrofit>>.

Acesso em: junho de 2020.

AIZEBEOKHAI, A. P.; OLAYINKA, A. I.; SINGH, V. S.; UHUEGBU, C. C. Effectiveness of 3D geoelectrical resistivity imaging using parallel 2D profiles. **International Journal of the Physical Sciences**, v. 6, p. 5623-5647. 2011.

ALLARD, B.; OLOFSSON, U.; TORSTENFELT, B.; KIPASTI, H; ANDERSSON, K. Sorption of actinides in well-defined oxidation states on geologic media. **Mater Res Soc Symp Proc**, 75–782. 1982. Doi: <https://doi.org/10.1557/PROC-11-775>

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Bol. Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo, n. 41. 1964.

ALMEIDA. F.F.M.; BARBOSA, O. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro Estado de São Paulo. Rio de Janeiro. **Boletim do DNPM/DGM**, (143): 96p. 1953.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br>>.

Acesso em: 25 novembro 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil / Agência Nacional de Águas. 2019.

ANRDEC. Agency of Natural Resources Department Environmental Conservation. (Canadá).

Disponível em: <https://dec.vermont.gov/>

Acesso em: 15/05/2020

ARARAS. Município de Araras – SP  
Disponível em: <<http://araras.sp.gov.br/home/>>  
Acesso em: 18 janeiro 2019.

ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. A.; PERINOTTO, J. A. J. O trato deposicional Tatuí e a transgressão Taquaral no Centro-Leste do Estado de São Paulo. *In VI SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE-SBG/UNESP*. Boletim de resumos. 53. 1999.

ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. A.; PERINOTTO, J. A. J. Paleocorrentes, paleogeografia e sequencias deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**. 33(1): 33-40. 2003.

BARBOSA, O.; GOMES, F. A. Pesquisa de petróleo na bacia do rio Corumbataí. Rio de Janeiro, **Boletim do DNPM/DGM**. 171:40p. 1958.

BARKER R. D. The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. **Geophysical Prospecting**, p.128-143, 1981.

BEAUVAIS, A. Geochemical Balance of Lateritization Processes and Climatic Signatures in Weathering Profiles Overlain by Ferricretes in Central Africa. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Vol, 63, n. 23/24, 3939-3957. 1999.

BICUDO, C.E. de M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas** - São Paulo, Instituto de Botânica, 224 p. ISBN: 978-85-7523-032-9 Rio de Janeiro, RJ, de organização da Academia Brasileira de Ciências. 2011.

BOYLE, R. Geochemical Prospecting for Thorium and Uranium Deposits. Ottawa, Canadá: **Elsevier Science**. 2013.

BRASIL, DECRETO Nº 4.074, DE 4 DE JANEIRO DE 2002  
Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4074.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4074.htm)  
Acesso em: 12/05/2021

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.  
Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br>>.  
Acesso em: 20 maio 2019.

BRASIL LEI Nº 7.802, DE 11 DE JULHO DE 1989.  
Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l7802.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm)  
Acesso em: 27 de janeiro de 2022

BURGHOF, S.; GABIRI, G.; STUMPP, C. Development of a hydrogeological conceptual wetland model in the data-scarce north-eastern region of Kilombero Valley, Tanzania. **Hydrogeology Journal**, Volume 26, Number 1, Page 267. 2018.

CALHOUN, A. J. K.; D. M. MUSHET, L. C.; ALEXANDER, E. S.; DEKEYSER, L.; FOWLER, C. R.; LANE, M. W.; LANG, M. C.; RAINS, S. C.; RICHTER, S.C. WALLS. “The Significant Surface-Water Connectivity of ‘Geographically Isolated Wetlands’.” **Wetlands** 37: 801–06. 2017.



CAMPOS, A. B.; CEDRO, D. A. B.; TEJERINA-GARRO, F. L.; BAYER, M.; CARNEIRO, G. T. Spatial distribution of tropical wetlands in Central Brazil as influenced by geological and geomorphological settings. **Journal of South American Earth Sciences**. v 46, pág 161-169. 2013.

CASAGRANDE, M.; FURLAN, L. M.; MOREIRA, C. A.; ROSA, F. T. G., ROSOLEN, V. Non-invasive methods in the identification of hydrological ecosystem services of a tropical isolated wetland (brazilian study case). **Environmental Challenges**. 2021.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100233>

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - 2018

CHAHUD, A. Geologia e Paleontologia das formações Tatuí e Irati no centro-leste do estado de São Paulo. TESE (Doutorado em Geotectônica) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

CHANG, H.; MAKIDO, Y.; FOSTER, E. Effects of land use change, wetland fragmentation, and best management practices on total suspended solids concentration in an urbanizing Oregon watershed, USA. **J. Environ. Manage.** 2021. Doi: 10.1016/j.jenvman.2021.111962.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2017 - ano base 2016. CBH-MOGI, 2017. 119 p. Aprovado pela Deliberação CBH-MOGI nº 172, de 27 de junho de 2017.  
Disponível em < [www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br) >.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

Disponível:

[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfda\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)

Acesso em: 07 de junho de 2021

COSCIA, I.; LINDE, N.; GREENHALGH, S.; VOGT, T.; GREEN, A. "Estimating travel times and groundwater flow patterns using 3D time-lapse crosshole ERT imaging of electrical resistivity fluctuations induced by infiltrating river water." **GEOPHYSICS** 77: E239-E250. 2012. <https://doi.org/10.1190/geo2011-0328.1>

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS. Rio de Janeiro, 2011.

Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>

Acesso em: outubro de 2018

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS. Rio de Janeiro, 2011.

Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>

Acesso em outubro/2020

CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. F. Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas – INAU. Cuiabá, 2015.

Disponível em: <[www.INAU.org.br/imprensa/?CategoriaCod=1](http://www.INAU.org.br/imprensa/?CategoriaCod=1)>.

Acesso em: 6 outubro 2015.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - CONSÓRCIO JMR-ENGECORPS. Síntese dos Planos de Bacia - Plano Estadual de Recursos Hídricos, 2004-2007. São Paulo: DAEE/ Consórcio JMR-ENGECORPS, 2005. (Relatório nº 1/2005).

DAHLIN, T; ZHOU, B. 'A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays' **Geophysical Prospecting**, vol 52, no. 5, pp. 379-398. 2004.

DAHLIN, T. 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications. *First Break*, 14(7), 275-283. DOI: 10.3997/1365-2397.1996014. 1996.

DEFFONTAINES, P. Regiões e paisagens do Estado de São Paulo. Primeiro esboço de divisão regional. **Geografia** 1 (2): 117-169. São Paulo. 1935.

DAVIDSON, N. C.; LAFFOLEY, D.; DOODY, J. P.; WAY, L. S.; GORDON, J.; KEY, R.; DUFF, K. L. Nature conservation and estuaries in Great Britain. **Nature Conservancy Council**. 1991.

De GROOT-HEDLIN, C.; CONSTABLE, S. "Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data." **GEOPHYSICS**, 55(12), 1613-1624. 1990. <https://doi.org/10.1190/1.1442813>

DENTITH, M. C.; MUDGE, S. *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. Cambridge University Press; New Edição. pág. 454. 2014.

de OLIVEIRA XAVIER, R.; LEITE, M. B.; DEXTER, K.; DA SILVA MATOS, D. M. (Differential effects of soil waterlogging on herbaceous and woody plant communities in a Neotropical savanna. **Oecologia**. 190, pág 471–483(2019). <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04423-y>.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors. **AGSO J. Australia Geology & Geophysics**. 17(2). Pág.187-200. 1997.

DIXIT. A.; SIDDAIAH. N.; JOSHI, P. Hydrogeochemical assessment of wetlands of Gurugram, Haryana, India: implications for natural processes and anthropogenic changes. **Arabian Journal of Geosciences**. 2021. Doi:<https://doi.org/10.1007/s12517-020-06423-2>.

EMBRAPA - Levantamento pedológico detalhado (1:5.000) da Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Tatuí (APTA Sudoeste Paulista - SAA - SP) / Maurício Rizzato Coelho ... [et al.]. - Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**. 2003.

EVANS. A.; MATEO-SAGASTA. J.; QADIR. M.; BOELLE. E.; IPPOLITO, A. Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Curr. Opin. Environ. Sustain*, pág 20-27. 2019.

EWING, J. M.; VEPRASKAS, M. J.; BROOME, S.W.; WHITE, J. G. Changes in wetland soil morphological and chemical properties after 15, 20, and 30 years of agricultural production. **Geoderma. Elsevier**. Volumes 179–180. Pág 73-80. 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.02.018>

FERREIRA, F. J. F. Aerogamaespectrometria e aeromagnetometria de um trato ocidental do Pré-Cambriano paulista. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, pág 150. 1991.

**FIOCRUZ** - FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ - Ministério da Saúde, Brasil.  
 Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/fiocruz-participa-de-campanha-contra-o-uso-de-agrotoxicos> .  
 Acesso em: 27 de janeiro de 2021

FÚLFARO, V. J.; STEVAU, J. C.; SOUZA FILHO, E. E.; BARCELOS, J. H. A  
 Formação Tatuí (P) no Estado de São Paulo. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 33. Anais. Rio de Janeiro: SBG. pág. 711-72. 1984.

FURLAN, L. M.; ROSOLEN, V.; SALLES, J.; MOREIRA, C. M.; FERREIRA, M. E.; BUENO, G. T.; COELHO, C.V.S.; MOUNIER, S. Natural superficial water storage and aquifer recharge assessment in Brazilian savana wetland using unmanned aerial vehicle and geophysical survey. 2020. [Doi: <https://doi.org/10.1139/juvs-2020-0004>](https://doi.org/10.1139/juvs-2020-0004).

FURLAN, L. M.; MOREIRA, C. A.; De ALENCAR, P.; ROSOLEN, V. Environmental monitoring and hydrological simulations of a natural wetland based on high-resolution unmanned aerial vehicle data (Paulista Peripheral Depression, Brazil). **ENviron. Chall.** (2021a).

FURMAN, A.; FERRE, T. P. A.; WARRICK, A. W. A sensitivity analysis of electrical resistivity tomography array types using analytical element modeling. **Vadose Zone Journal**, v 2, 416–423. 2003.

GASCOYNE, M. Geochemistry of the Actinides and their daughters. Uranium Series Disequilibrium." **Applications to Earth, Marine and Environmental**. 1992.

GILVEAR, D. J.; BRADLEY, C. Hydrological monitoring and surveillance for wetland conservation and management; a UK perspective, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, Volume 25, Issues 7–8, 2000.  
[https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00068-X](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00068-X).

GOOGLE. Google earth. Version 7.1.2.2041. c2013.  
 Disponível em: <www.url.com>.  
 Acesso em: 09 maio de 2018.

GREER, B. M., BURBEY, T. J., ZIPPER, C. E.; HESTER, E. T. Electrical resistivity imaging of hydrologic flow through surface coal mine valley fills with comparison to other landforms. **Hydrol. Processes**, 31. Pág. 2244–2260. 2017. [Doi: 10.1002/hyp.11180](https://doi.org/10.1002/hyp.11180)

GEOTOMO (2020) Geotomo Software. Fonte: Geoelectrical Imaging 2D & 3D:  
<https://www.geotomosoft.com/downloads.php>

GUPTA, D.; WALTHER, C. Radionuclides and Heavy Metals in the Environment. Switzerland: **Springer Nature Switzerland AG**. 2020.

GRIFFITHS, D. H.; BARKER, R. D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. **J. Appl. Geophys.** 29. Pág. 211–226. 1993.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER. **Fundamentos de Física**. 8 ed. Editora LTC, v. 3. 390 p 2009.

HAYASHI, M.; VAN DER, KAMP.; G; RUDOLPH, D. L. Water and solute transfer between a prairie wetland and adjacent uplands, 1. Water balance. **Journal of Hydrology** 207. Pág 42–55. 1998.

HAYASHI. M.; VAN DER KAMP, G.; ROSENBERRY, D. Hydrology of Prairie Wetlands: Understanding the Integrated Surface-Water and Groundwater Processes. **Wetlands** Pág. 237-254. 2016.

HAVRIL, T.; TÓTH, A.; MOLSON, J. W.; GALSA, A.; MÁDL-SZONYI, J. Impacts of predicted climate change on groundwater flow systems: Can wetlands disappear due to recharge reduction? **Journal of Hydrology**. 563 1169–1180. 2016.

Doi:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.020>>.

HELENE, L.P.I., MOREIRA, C.A., BOVI, R.C. Identification of leachate infiltration and its flow pathway in landfill by means of electrical resistivity tomography (ERT). **Environ Monit. Assess.**, **192**, 249-259. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8206-5>

HISCOCK, K. M. Hydrogeology Principles and Practice. **Blackwell Science Ltd**, 2005. 405 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Disponível em <[www.ibge.gov.br/home/](http://www.ibge.gov.br/home/)>.

Acesso em: abril de 2020

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Disponível em <[www.ibge.gov.br/home/](http://www.ibge.gov.br/home/)>.

Acesso em: abril de 2019.

IBGE SIDRA - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA

Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>

Acesso em: abril de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios** / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. – Rio de Janeiro: INCA. 2021.

IVANOVICH M, HARMON R. Uranium-series disequilibrium: applications to earth, marine, and environmental sciences, United Kingdom: Clarendon Press. V 2. 1992.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; SCHÖNGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, J. M.; WITTMANN, F. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands** 31: 623–640. 2011.

JUNK, W.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. **The flood pulse concept in river-floodplains systems.** Pages 110-127 In **D.P. Dodge, ed. Proceedings of the International Large River Symposium (LARS).** Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, V 106. 1989.

JUNK, W.; PIEDADE, M.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L.; AGOSTINHO, A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic conservation Marine and Freshwater Ecosystems.** 2013. [Doi:https://doi.org/10.1002/aqc.2386](https://doi.org/10.1002/aqc.2386).

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. An Introduction to Geophysical Exploration, 3 ed. **Oxford: Blackwell Science Ltd**, pág 281. 2002.

KHATRI, N.; TYAGI, S. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. **Front Life Sci.** pág 23–39. 2015.

KING, L. A geomorfologia do Brasil oriental. **R. Bras. Geogr.** 18(2) pág 147-265. Rio de Janeiro. 1956.

KNÖDEL, K.; LANGE, G.; VOIGT, H-J. **Environmental Geology Handbook of Field Methods and Case Studies.** Springer-Verlag, Berlin, pág 1374. 2007.

LANDIM, P. M. B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica, Texto Didático 02, pág 20. 2000.

LEIBOWITZ, S.G. “Geographically Isolated Wetlands: Why We Should Keep the Term.” **Wetlands** 35: 997-1003. 2015.

LEIBOWITZ, S.; WIGINGTON, P.; SCHOFIELD, K.; ALEXANDER, L.; VANDERHOOF, M.; GOLDEN, H. Connectivity of streams and wetlands to downstream waters: an integrated systems framework. **Journal of the American Water Resources Association.** American Water Resources Association, Middleburg, VA, 54(2):298-322. 2018.

LEITE, M. B.; XAVIER, R. O; OLIVEIRA, P. T. S.; SILVA, F. K. G.; MATOS, D. M. S. Groundwater depth as a constraint on the woody cover in a Neotropical Savanna. **Plant Soil** 426:1–15. 2018.

LISSEY, A. Depression-focused transient groundwater flow patterns in Manitoba. **Environmental Science Corpus**, ID: 134128142.1971.

LOKE, M. H. A Practical Guide to 2D and 3D Surveys. Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies, 8-10. 1999.

- LOKE, M. H.; CHAMBERS, J. E.; RUCKER, D. F.; KURAS, O; WILKINSON, P. B. 1999 Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method, **Journal of Applied Geophysics**. Volume 95, Pages 135-156. 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.02.017>.
- LOWRIE, W. Fundamentals of Geophysics. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press. 381 p. 2007.
- MAACK, R. Die Entwicklung der Gondwana.; Schichten Suedbrasiliens und ihre Beziehungen zur Komi-formation Suedafrikas.. In: **Geological Society of Algiers** (ed.), **International Geological Congress of Algiers**, Algiers, Proceedings, v. 19, p.339-372. 1952.
- MATEO-SAGASTA, J., MARJANI ZADEH, S., TURRAL, H. More People, More Food, Worse Water? A Global Review of Water Pollution from Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2018.
- MARTINEZ-AGUIRRE A.; GARCIA-LEÓN, M. The Distribution of U, Th and <sup>226</sup>Ra Derived from the Phosphate Fertilizer Industries on an Estuarine System in Southwest Spain. **J. Environ. Radioactivity**, 155-177. 1994.
- MCLAUGHLIN, D.; KAPLAN, D.; COHEN, M. A significant nexus: Geographically isolated wetlands influence landscape hydrology. **Water Resources Research**. 2014. Doi:10.1002/2013WR015002
- MELLO, V. F. B.; TEIXEIRA, A. H. Mecânica de solos. São Carlos: **Escola de Engenharia**. 1967.
- MELO, S. M. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em geologia sedimentar-USP, São Paulo. 164 p. 1995.
- MENZEL, R. Uranium, radium and thorium content in phosphate rocks and their possible radiation hazard. **Journal of Environmental Radioactivity**, 231-284. 1968.
- MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. **Geociências**. Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287. 2007.
- MILANI, E. J. Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul- Ocidental. Porto Alegre. 2 v., Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.
- MILLER, J. J.; ACTON, D. F.; ARNAUD, S. T. The effect of groundwater on soil formation in a morainal landscape in Saskatchewan. **Can J Soil Sci** 65:293–307. 1985.
- MITSCH, W.J.; GOSELINK, J.G. Wetlands. 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. 2015.
- MOON, C. J.; WHATELEY, M. K. G.; EVANS, A. M. Introduction of mineral exploration. 2°ed., **Blackwell Publishing**, Malden, pág 499. 2006.

- MOREIRA, C. A.; LAPOLA, M. M.; CARRARA, A. Comparative analyzes among electrical resistivity tomography arrangements in the characterization of flow structure in free aquifer. **Geofísica Internacional**, 55(2): 119-129. 2016.
- MOREIRA, C. A, ROSOLEN, V.; FURLAN, L. M.; BOVI, R.; MASQUELIN, H. Hydraulic conductivity and geophysics (ERT) to assess the aquifer recharge capacity of an inland wetland in the Brazilian Savanna. **Environmental Challenges**. 2021.  
Doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100274>
- MUZIRAFUTI, A.; BOUALOUL, M.; BARRECA, G.; ALLAOUI, A.; BOUIKBANE, H.; LANZA, S.; CRUPI, A.; RANDAZZO, G. Fusion of Remote Sensing and Applied Geophysics for Sinkholes Identification in Tabular Middle Atlas of Morocco (the Cause of El Hajeb): Impact on the Protection of Water Resource. **Resources**. 2020.  
<https://doi.org/10.3390/resources9040051>
- MUSSETT, A. E.; KHAN, M. A. Looking into the Earth: an introduction to geological geophysics. Cambridge: Cambridge University Press, pág 493. 2000.
- MUSHET, D. M. A. J. K.; CALHOUN, L. C.; ALEXANDER, M. J.; COHEN, E. S.; DEKEYSER, L.; FOWLER, C. R.; LANE, M. W.; LANG, M. C.; RAINS.; S.C. WALLS. "Geographically Isolated Wetlands: Rethinking a Misnomer" **Wetlands** 35: 423–31. 2015.
- NASCIMENTO, C.; PIRES, A.; MORAES, R. Reconhecimento de solo por meio de Resistividade Elétrica e Radiação Gama. **Revista Brasileira de Geociências**, 383-392. 2004.
- NI, J. Impact of land cover change on the water environment of wetland ecosystem. **Arabian Journal of Geosciences**.2021. Doi:<https://doi.org/10.1007/s12517-021-07447-y>.
- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Wetlands: Characteristics and Boundaries. National Academy Press, Washington, DC. Pág 306. 1995.
- NYQUIST, J. E.; PEAKE, J. S.; ROTH, M. J. S. Comparison of an optimized resistivity array with dipole-dipole soundings in karst terrain. **Geophysics**, 72: 139-144. 2007.
- ODA, G. H. **Contribuição à hidrogeologia da região entre Salto de Pirapora e Itu (SP): análise da produtividade, ocorrência e circulação das águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Tubarão e Cristalino**. 1998. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geologia Econômica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- OLAYINKA, A. I.; YARAMANCI, U. Use of block inversion in the 2-D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion. **Journal of Applied Geophysics**, 45, p.63-81. 2000b. [Doi.org/10.1016/S0926-9851\(00\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(00)00019-7).
- ORELLANA, E. Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua. Madrid, pág 540. 1972.
- PERINOTTO, J. A. J. **Análise estratigráfica da sequência portadora de carvão de Cerquilha (SP)**. 76p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências / USP. São Paulo. 1987.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista**. IGEOG/USP, Série Teses e Monografias n.22, São Paulo, 1976.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. Geologia do Brasil (Fanerozóico). TAQ-EDUSP, São Paulo: 631p. 1983.

QGIS - Development Team. QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>. 2021.

RAMSAR - An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands, 5th ed. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland. 2016.

RADIATION SOLUTIONS.

Disponível em: <<https://www.radiationsolutions.ca/>>.

Acesso em: 25 janeiro 2020.

REYNOLDS, J. M. An introduction to applied and environmental geophysics. New York: John Wiley & Sons, 796. 1997.

REED, B. National list of plant species that occur in wetlands: National Summary. **Biol. Rep.** 88 (24). US Fish and Wildlife Service, Washington, DC. 1988.

RENTON, D. A.; MUSHET, D. M.; DEKEYSER, E.S. Climate change and Prairie pothole wetlands - Mitigating water-level and hydroperiod effects through upland management. **Scientific Investigation Report**. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. 2015.

ROBINSON, E. S.; CORUH, C. Basic Exploration Geophysics. John Wiley & Sons, New York, pág 562. 1988.

ROSOLEN, V.; DE-CAMPOS, A. B.; GOVONE, J. S.; ROCHA, C. Contamination of wetland soils and floodplain sediments from agricultural activities in the Cerrado Biome (State of Minas Gerais, Brazil). *Catena* 128 203–210. 2015.

ROSSI, Marcio. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal., V.1.118p. (inclui mapas). 2017.

ROSSMAN, N. R.; ZLOTNIK, V.A.; ROWE, C.M. An approach to hydrogeological modeling of a large system of groundwater-fed lakes and wetlands in the Nebraska Sand Hills, USA. **Hydrogeol J** 26: 881. 2018. [Doi.org/10.1007/s10040-017-1691-0](https://doi.org/10.1007/s10040-017-1691-0).

REIS, D.; PLANGG, R.; TUNDISI, J.; QUEVEDO, D. Physical characterization of a watershed through GIS: a study in the Schmidt stream, Brazil. *Braz J Biol.* 2015. [Doi:10.1590/1519-6984.01313](https://doi.org/10.1590/1519-6984.01313)

REHMAN, S.; IMTIAZ, N.; FAHEEM, M.; MATIULLAH. Determination of  $^{238}\text{U}$  contents in ore samples using CR-39 based radon dosimeter disequilibrium case. **Radiat. Meas.**, 471- 476. 2006. [Doi:https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2005.10.002](https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2005.10.002).



RIBEIRO, F. C.; SILVA, J.; LIMA, E.; DO AMARAL SOBRINHO, N.; PEREZ, D.; LAURIA D. Natural radioactivity in soils of the state of Rio de Janeiro (Brazil): radiological characterization. **J Environ Radioact**, 34-43. 2018.

RICHARDSON, J.; VEPRASKAS, MICHAEL. Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification. 2000.

SAEMA - Serviço de Água e Esgoto do Município de Araras.  
Disponível em: <https://saema.com.br/>  
Acesso em: 31 de janeiro de 2022

SAĞIR, Ç.; KURTULUŞ, B.; SOUPIOS, P.; AYRANCI, K.; DÜZTAŞ, E.; AKSOY, M.E.; AVŞAR, Ö.; ERDEM, G.; PEKKAN, E.; CANOĞLU, M.C.; KAKA, S.I.; RAZACK, M. Investigating the Structure of a Coastal Karstic Aquifer through the Hydrogeological Characterization of Springs Using Geophysical Methods and Field Investigation, Gökova Bay, SW Turkey. **Water**, 12, 3343. 2020. <https://doi.org/10.3390/w12123343>

SAN MIGUEL, E.; PÉREZ-MORENO, J.; BOLÍVAR, J.; GARCÍA-TENORIO, R. Validation of isotope signatures in sediments affected by anthropogenic inputs from uranium series radionuclides. **Environ Pollut**, 125-130. 2003. [Doi:10.1016/s0269-7491\(02\)00340-8](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(02)00340-8)

SÃO PAULO - MAPA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO: escala 1:1.000.000: nota explicativa / [coordenação geral Gerôncio Rocha]. - São Paulo: DAEE Departamento de Águas e Energia Elétrica: IG-Instituto Geológico: IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2005.

SCHNEIDER, R. L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E; MEDEIROS, R. A; DAEMON, R. F; NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In **CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA**, 28., Porto Alegre, 1974. *Anais...* Porto Alegre, SBG, v.1, p. 41-65. 1974.

SCHÖN, J.H. **Physical properties of rocks: Fundamental and principles of petrophysics. Seismic exploration.** volume 18. Austria, Elsevier. 2004.

SEATON, W. J.; BURBEY T. J. Rvaluation of two-dimensional resistivity methods in a fractured crystalline-rock terrane. **Journal of Applied Geophysics**, 51, p.21-41. 2002.

SINGER, H.; Jaus, S.; Hanke, I.; Lück, A.; Hollender, J.; Alder, A. C. Determination of biocides and pesticides by on-line solid phase extraction coupled with mass spectrometry and their behaviour in wastewater and surface water. **Environmental Pollution**, 158(10), pág.3054-3064. 2010.

SOUZA, J. L.; FERREIRA, F. J. Anomalias Aerogamaespectrométricas (K, eu e eth) da quadrícula de Araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Geofísica**. 2005.

SOARES, P.C.; LANDIM, P. M. B. Aspectos regionais da estratigrafia da bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In **XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, Aracaju (SE). *Anais*, 1:243-256. 1973.

SOARES, P. C. O limite glacial/pós glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 44 (suplemento): 333-342. 1972. *In*

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F.; LUCHINI, L. C.; ANDRÉA, M. M. de Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações. **Embrapa Meio Ambiente**, 42, p.29. 2004.

SAHRAWAT KL. Organic matter accumulation in submerged soils. *Adv Agron* 81:169–201. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)81004-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)81004-0)

An, S.; Li, H.; Guan, B.; Zhou, C.; Wang, Z.; Deng, Z.; Zhi, Y.; Liu, Y.; Xu, C.; Fang, S.; Jiang, J.; Li, H. China's Natural Wetlands: Past Problems, Current Status, and Future Challenges. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, 335-342. 2007. Doi: <https://doi.org/10.1579/0044-7447>

STEVAUX, J.C. Faciologia e ambientes de sedimentação da Formação Rio Bonito (SP) da Bacia do Paraná. Dissertação (mestrado em Paleontologia e Estratigrafia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1986.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. Cambridge: Cambridge University Press, pág 770 . 1990.

TINER, R.W.; BURKE, D.G. Wetlands of Maryland: U.S. Fish and Wildlife Service, Ecological Services, Region 5, Hadley, **Massachusetts and Maryland Department of Natural Resources, Baltimore**, Maryland, pág 408. 1995.

TINER, R. Estimated extent of geographically isolated wetlands in selected areas of the United States. *Wetlands*. 2003.

TOMASINI, B. A., VITORINO, A. C. T., GARBIATE, M. V., SOUZA, C. M. A. de.; A. SOBRINHO, T. Water infiltration in soil cultivated with sugarcane: under different cropping systems and models of adjustment of infiltration equations. **Eng. Agríc. [online]**, vol.30, n.6, pp.1060-1070. ISSN 0100-6916. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000600007>

TUCCI, C.E.M. Existe crise da água no Brasil?. 2009

Disponível em:

<http://www.iph.ufrgs.br/corpo docente/tucci/publicacoes/EXISTE CRISE DA Agua.pdf>.

Acesso em 08 setembro de 2020.

USGS - THE UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY

Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/circ/c1050/>

Acesso em: 29/04/2021

USINA SÃO JOÃO.

Disponível em: <<https://site.usj.com.br/site/>>.

Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

UHLEMANN, S. S., J. P. R. SORENSEN, A. R.; HOUSE, P. B. WILKINSON, C.; ROBERTS, D. C.; GOODDY, A. M.; BINLEY, J. E. CHAMBERS. Integrated timelapse

geolectrical imaging of wetland hydrological processes, *Water Resour. Res.*, 52, 1607–1625. 2016. [Doi:10.1002/2015WR017932](https://doi.org/10.1002/2015WR017932).

VAN DER KAMP, G.; HAYASHI, M.; GALLÉN, D. Comparing the hydrology of grassed and cultivated catchments in the semi-arid Canadian prairies. **Hydrological Processes** 17:559–575. 2003.

VAN DER KAMP, G.; HAYASHI, M. Groundwater-wetland ecosystem interaction in the semiarid glaciated plains of North America. **Hydrogeol J** 17, 203–214. 2009. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0367-1>

VANDENHOVE, H.; VAN HEES, M.; WOUTERS, K.; WANNIJN, J. Can we predict uranium bioavailability based on soil parameters? Part 1: effect of soil parameters on soil solution uranium concentration. **Environ Pollut**, 587-595. 2007.

VANDENHOVE, H.; OLYSLAEGERS, G.; SANZHAROVA, N.; SHUBINA, O.; REED, E.; SHANG, Z.; VELASCO, H. Proposal for new best estimates of the soil-to-plant transfer factor of U, Th, Ra, Pb and Po. **J Environ Radioact**, 721–732. 2009.

WASHBURNE, C.W. Petroleum geology of the State of São Paulo - Brazil. São Paulo, **Boletim da Comissão geográfica e Geológica do Estado de São Paulo**, 22 pág 282. 1930.

WARD, S. H. Resistivity, and induced polarization methods. *In: Geotechnical and Environmental Geophysics*. Tulsa: Society Geophysicists (SEG). V.1, p. 147-189. 1990.

WHITTECAR, G. R.; DOBBS, K. M; STONE S. A; MCLEOD, T. L; SMITH, T. J. S. Use of the Effective Monthly Recharge model to assess long-term water-level fluctuations in and around groundwater-dominated wetlands. Elsevier B.V. **Ecological Engineering** 99, 462–472. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.038>

WINTER, T. C.; ROSENBERRY, D.O. Hydrology of Prairie Pothole Wetlands during Drought and Deluge: A 17-Year Study of the Cottonwood Lake Wetland Complex in North Dakota in the Perspective of Longer Term Measured and Proxy Hydrological Records. **Climatic Change**, Volume 40, pág 189. 1998. [Doi: 10.1023/A:1005448416571](https://doi.org/10.1023/A:1005448416571)

WILFORD, J.; BIERWIRTH, P.; CRAIG, M. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. **Journal of Australian Geology and Geophysics**, 201-216. 1997.

WEIJDEN C. H., WEIJDEN, R. D. Mobility of major, minor and some redox-sensitive trace elements and rare-earth elements during weathering of four granitoids in central Portugal. **Chemical Geology**, 125: 149-167. 1995.

WINTER, T. C. A conceptual framework for assessing cumulative impacts on the hydrology of nontidal wetlands. **Environ. Manage.** 12, 605–620. 1988.

XIANCANG, W.; WEIHONG, D.; XUEYU, L.; YUKAI, L; YING, M; WEI X. Evolution of wetland in Honghe National Nature Reserve from the view of hydrogeology. **Science of The Total Environment**. V 609, Pag 1370-1380. 2017. [Doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.260](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.260)

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A - São Paulo: Person Education do Brasil, 2009.

ZALÁN, P.V.; WOLF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANATTO, O. A. Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná. *In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, (1987), 3., Curitiba, *Atas...* Curitiba, SBG, v.1, p. 441-477. 1987.

ZHANG, G.; ZHANG, G. B.; CHEN, C.; CHANG, P. Y.; WANG, T. P.; YEN, H. Y.; DONG, J.J.; NI, C. F.; CHEN, S.C.; CHEN, C.W.; JIA, Z.Y. Imaging rainfall infiltration processes with the time-lapse electrical resistivity imaging method. **Pure and Applied Geophysics**, 173(6), 2227–2239.2016 <https://doi.org/10.1007/s00024-016-1251-x>.

ZHOU, J. A.; REVIL, M.; KARAOULIS, D.; HALE, J.; DOETSCH.; S. CUTTLER. Image-guided inversion of electrical resistivity data. **Geophysical Journal International**. 197, 292–309. 2014. [Doi: 10.1093/gji/ggu001](https://doi.org/10.1093/gji/ggu001)