

## CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA E A QUALIDADE DAS ÁGUAS DO AQUÍFERO GUARANI NAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO OESTE DE SANTA CATARINA

*Janete Facco<sup>1\*</sup>; Fabio Carasek<sup>2</sup>; Manuela Gazzoni dos Passos<sup>3</sup>; Jacir Dal Magro<sup>4</sup>; Luiz Fernando Scheibe<sup>5</sup>*

### Resumo

A região Oeste de Santa Catarina envolve seu maior consumo de água na criação de animais, o que implica em maior pressão sobre a qualidade da água subterrânea: essa é uma das constatações levantadas na construção do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (2017), em andamento. Diante dessa crescente perfuração de poços tubulares profundos no Oeste Catarinense, o artigo busca conhecer a classificação química e a qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Guarani nas regiões hidrográficas abrangidas. A primeira etapa da pesquisa ocorreu com a localização dos poços no Aquífero Guarani e em seguida os trabalhos de campo para as coletas das amostras, que seguiram rigorosamente as normas técnicas. Após as análises laboratoriais, foi aplicado o diagrama triangular de Piper, para conhecer a classificação química das águas desse aquífero. Os resultados mostraram predominância tipológica química bicarbonatada, compreendendo 71,4% das amostras analisadas. Classificamos no total 6 (seis) tipos hidroquímicos : 66,68 % das amostras são de águas bicarbonatadas sódicas; os demais tipos correspondem, 9,52% a águas sulfatadas sódicas, 9,52% a águas cálcicas cloretadas, 4,76% sódicas cloretadas, 4,76% cálcicas sulfatadas e 4,76% apresentou característica bicarbonatada mista. Foi possível constatar que de forma geral o SAG apresenta boa qualidade e potabilidade da água.

**Palavras-Chave** – Águas subterrâneas; Aquífero Guarani; Águas bicarbonatadas sódicas.

## CHEMICAL CLASSIFICATION AND QUALITY OF GUARANI AQUÍFERO WATER IN THE HYDROGRAPHIC REGIONS OF THE WEST OF SANTA CATARINA STATE, SOUTHERN BRAZIL

### Abstract –

The wester region of Santa Catarina involves its greater consumption of water in animal husbandry, implying in greater pressure on groundwater quality: this is one of the findings raised in the construction of the State Plan of Water Resources of Santa Catarina (2017), in progress. In face of this growing demand for drilling of deep tubular wells in the region, the article seeks to know the chemical classification and quality of groundwater of the Guarani Aquifer in the included hydrographic regions. The first stage of the research was the location of the wells of the Guarani Aquifer, and then the field works for the sample collection, which strictly followed the technical standards. After the laboratory analyses, the Piper's triangular diagram was used, to know the chemical classification of the waters of this aquifer. The results showed typological predominance of bicarbonated water, comprising 71.4% of the analyzed samples. We classified six (6) total hydrochemical types: 66.68% are sodium bicarbonate waters, and the other classes comprise 9.52% of sulfated sodium, 9.52% chlorinated calcium, 4.76% sodium chloride, 4.76% sulfated calcium and 4.76% mixed bicarbonate. In general, all the samples are constituted by good quality and potable water.

**Keywords** – Groundwater; Guarani Aquifer; sodium bicarbonate water.

[1] \*Geógrafa, Doutoranda em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina. [janetefacco1@gmail.com](mailto:janetefacco1@gmail.com)

[2] Biólogo. Mestre em Ciências Ambientais, [fabio\\_carasek@hotmail.com](mailto:fabio_carasek@hotmail.com).

[3] Bióloga, Doutora em Ciências Biológicas. [biologamanu@gmail.com](mailto:biologamanu@gmail.com)

[4] Eng. Químico. Doutor em Química. [jacird@gmail.com](mailto:jacird@gmail.com)

[5] Geólogo. Professor Titular Emérito, voluntário dos Programas de Pós-Graduação em Geografia e Interdisciplinar em Ciências Humanas da UFSC; Coordenador do projeto Rede Guarani/Serra Geral; [scheibe2@gmail.com](mailto:scheibe2@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

Quando se fala nos setores econômicos do grande Oeste Catarinense, verifica-se que no decorrer de toda sua história, os mesmos possuem uma relação muito próxima com a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos existentes nesse território. A partir dos anos de 1920, diversos foram os ciclos econômicos que ocorreram: extrativismo da erva-mate; da madeira; agrícola; agroindustrial, o qual fez aumentar muito a produção de grãos, entre eles milho, feijão, depois soja, e de animais, a matéria-prima (suínos, frangos e perus) das agroindústrias; moveleiro e mais recentemente, como a maior bacia leiteira do estado, gerando 2,2 bilhões de litros/ano. Dentro de um modelo de produção familiar, praticamente todos os estabelecimentos agropecuários produzem leite, o que garante uma renda mensal às famílias rurais. O oeste catarinense responde por 73% da produção catarinense, com cerca de 50.000 estabelecimentos rurais (PORTAL DO AGRONEGÓCIO, 2017; SANTA CATARINA, 2017).

No entanto, a forma de ocupação da região trouxe inúmeros problemas como o alto grau de desmatamento, a erosão do solo, o assoreamento dos cursos d'água, a disposição intensa e não resolvida de dejetos de suínos, a utilização de agrotóxicos, a falta de tratamento de esgoto nas cidades, a disposição inadequada do lixo e efluentes industriais (FREITAS; ANTUNES, p. 1, 2017). Os reflexos disso impactaram na qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos superficiais em todo Oeste Catarinense, o que explica o aumento exponencial na exploração das águas subterrâneas no decorrer das décadas de 1970 e 1980 até a atualidade.

A região Oeste de Santa Catarina envolve seu maior consumo de água na criação de animais, o que leva a uma maior pressão sobre a qualidade da água subterrânea: essa é uma das constatações levantadas na construção do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (2017, em andamento). Este cenário tende a agravar-se devido aos aumentos mais expressivos na produção de leite que vêm ocorrendo em Santa Catarina: no ano de 2016 (+89,77 milhões de litros), (IBGE, 2017), sendo 73% produzido no Oeste (PORTAL DO AGRONEGÓCIO, 2017; SANTA CATARINA, 2017). Também, no ano de 2016, Santa Catarina ficou em segundo lugar no ranking nacional no abate de frangos, com 14,9% dos abates no país (a criação de aves se dá de maneira muito intensa no Oeste Catarinense). No mesmo ano, o Estado liderou o abate de suínos, com 25,4% do total nacional, (+450,87 mil cabeças), (IBGE, 2017). Tudo isso implica no aumento do consumo de água com boa qualidade não apenas na criação de animais, mas também no abate dos mesmos, ressaltando que todas as grandes agroindústrias de transformação de carne encontram-se no Oeste Catarinense.

Diante dessa crescente perfuração de poços tubulares profundos no Oeste Catarinense, o artigo busca conhecer a classificação química e a qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Guarani nas regiões hidrográficas do Oeste Catarinense.

## METODOLOGIA

As Regiões Hidrográficas 1, 2 e 3 que compõem o Oeste Catarinense abarcam 134 municípios, uma área aproximada de 23.500 Km<sup>2</sup>, onde vivem mais de 1.000.000 de habitantes (ANA, 2016; IBGE, 2016).

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral que constituem o substrato das RHs 1, 2 e 3, apresentam diversas litologias, ocasionando feições geomorfológicas próprias, responsáveis por

desníveis, corredeiras e saltos com importante potencial hidrelétrico e diferentes configurações de solos (FAPEU - REDE GUARANI/SERRA GERAL, 2015; FACCO 2017).

A Formação Serra Geral<sup>1</sup> é o resultado de um evento vulcânico de natureza fissural que cobriu cerca de 75% de toda a Bacia do Paraná. Em Santa Catarina, os pacotes de lavas podem atingir espessuras superiores a 1.200 metros e depositaram-se sobre os arenitos da Formação Botucatu, cujo contato é discordante e abrupto, gerando muitas vezes intertraps, cuja origem está relacionada a uma pausa no evento vulcânico, ou até mesmo na penetração do magma, na forma de sills, nos sedimentos pré-vulcânicos (CARDOSO e OLIVEIRA, 2007).

Nos períodos Triássico e Jurássico (entre 250 e 150 Ma), a formação de um imenso deserto, conhecido no Brasil como Deserto de Botucatu, originou um pacote de arenitos porosos e permeáveis, com 100 a 200m de espessura: o atual Aquífero Guarani (NANNI, 2014).

A área de ocorrência do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral SAIG/SG, em toda a região oeste de Santa Catarina que tem, portanto, como principal fonte de águas subterrâneas, o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (REDE GUARANI/SERRA GERAL, 2015).

O Aquífero Guarani é formado pelos sedimentos das formações Botucatu e Piramboia/Rosário do Sul, distribuindo-se numa área de aproximadamente 49.200 km<sup>2</sup> e encontrando-se recoberto, em quase toda sua extensão, por rochas da Formação Serra Geral, o que o torna pouco vulnerável à contaminação (CARDOSO e OLIVEIRA, 2007).

## Levantamento dos dados

A primeira etapa da pesquisa ocorreu com a localização dos poços do Aquífero Guarani e em seguida os trabalhos de campo para as coletas das amostras, que seguiram rigorosamente as normas técnicas, SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 22 (2012). As amostras foram coletadas na boca dos poços. Após isso, as coordenadas com a localização de cada um dos 21 poços foram jogadas em uma base cartográfica fornecida pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado de Santa Catarina em 2013 a todos os municípios. Nessa etapa também se realizou o levantamento bibliográfico.

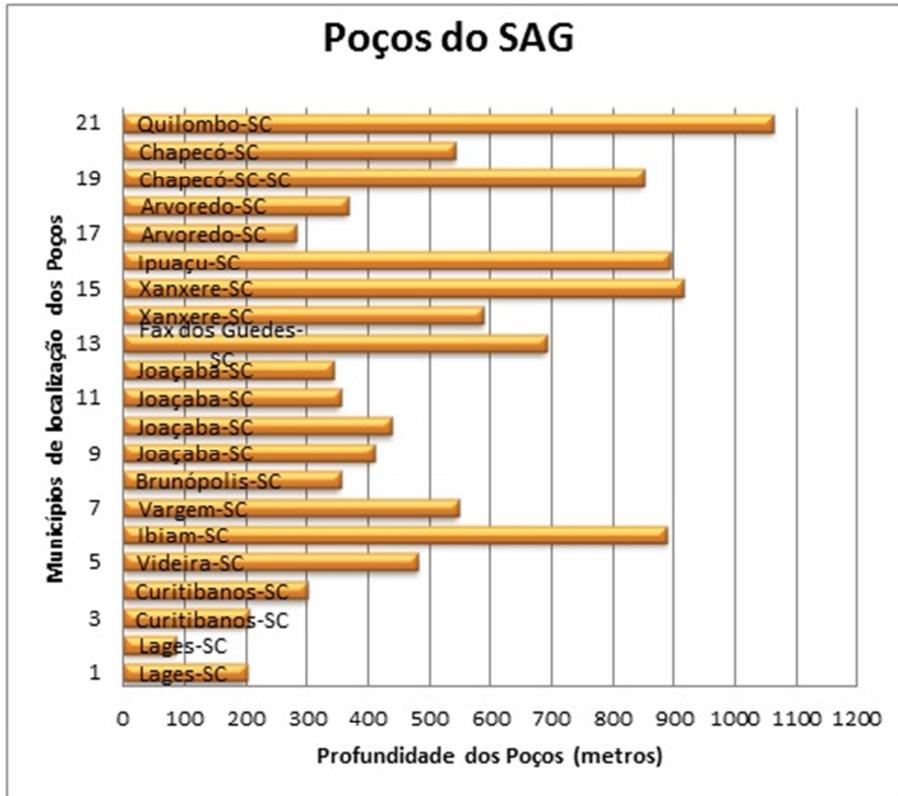
Após as análises laboratoriais realizadas no Laboratório Terra de Fraiburgo-SC e Laboratório REP de Chapecó-SC, foi aplicado o Diagrama triangular de Piper, para conhecer a classificação química das águas desse aquífero. Para o Diagrama de Piper, utilizou-se software Qualigraf (de uso livre), criado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2011). Tal Software apresenta inúmeras funções, destacando-se a execução do balanços iônicos e construção de diagramas de classificação hidroquímica da água. Para execução de tais procedimentos, é necessária inserção dos dados referentes às amostras utilizadas, seguindo os critérios estabelecidos pelo Software Qualigraf (DUTRA, 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionados 21 poços que atualmente fazem captação do recurso hídrico do SAG (Sistema Aquífero Guarani) com vazões de exploração diversas, desde 2m<sup>3</sup>/h a 49m<sup>3</sup>/h. A profundidade dos poços também varia muito; no município de Lages-SC, onde o SAG aflora, os poços tendem a ser mais rasos e conforme se avança para o centro da calha da bacia a profundidade para atingir o SAG torna-se cada vez maior devido aos pacotes de lavas de origem vulcânica da Formação Serra Geral depositados sobre os arenitos da Formação Botucatu, podendo atingir

<sup>1</sup> Atualmente, Grupo Serra Geral.

espessuras superiores a 1.200 metros. Na Figura 1, as profundidades (em metros) e a localização (município) dos poços do Sistema Aquífero Guarani que fazem parte dessa pesquisa.



**Figura 1:** Profundidade e localização dos poços

**Fonte:** os autores

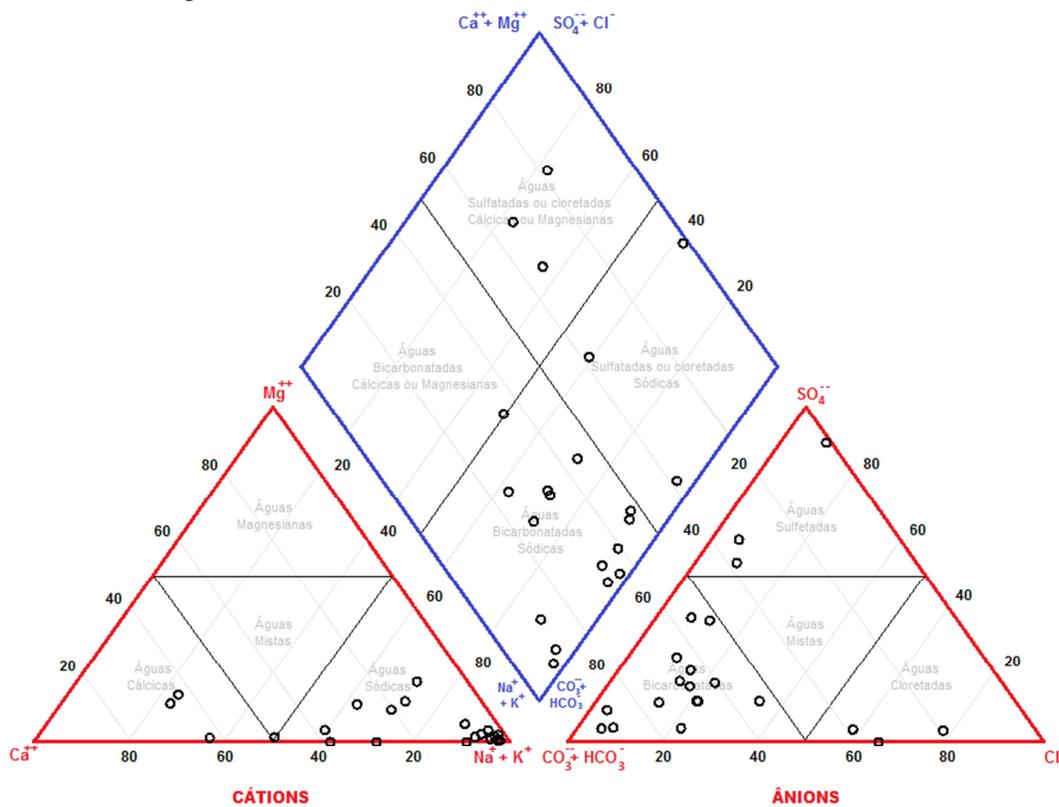
Nas análises do pH ocorreu uma variação de alcalinidade, com mínima de 7,2 a 10,18 e média geral de 8,71. O pH alcalino tem uma relação direta com as concentrações de Ca (máxima = 229,4mg/l, mínima = 1,60mg/l e média geral = 41,07mg/l) e alcalinidade total (máxima = 300,0mg/l, mínima = 21,10mg/l e média geral = 139,32mg/l). O pH é um importante parâmetro na avaliação da qualidade da água, embora normalmente não tenha um impacto direto sobre os consumidores (WHO, 2003). As águas provenientes do SAG normalmente são alcalinas com concentrações consideráveis de CaCO<sub>3</sub> e para sistemas operacionais de distribuição e tratamento de água tal fator se torna um problema devido processos de incrustações nas redes de água e equipamentos submersíveis de bombeamento.

As análises de Fe e Mn apresentaram resultados ínfimos, conforme se esperava, para as amostras do SAG: somente três poços com valores expressivos para o Fe: P14 = 0,27mg/l, P16 = 1,69mg/l e P18 = 1,18, sendo que os dois últimos excederam o valor máximo permitido para consumo humano conforme Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). O Fe encontrado em tais poços possivelmente está relacionado com entradas de águas a partir do SASG (Sistema Aquífero Serra Geral) que não foram isoladas no processo de perfuração dos poços, uma das formas pela qual pode ocorrer a mistura das águas do SASG e do SAG. Para as análises de Mn o teor foi expressivo somente para o P16 = 0,32mg/l (corroborando a explicação anterior), mas esteve presente em 9 amostras com resultados entre 0,007mg/l a 0,32mg/l e média geral = 0,05mg/l.

Os resultados das análises de  $\text{NO}_3^-$  (máxima = 1,7mg/l, mínima = 0,0 mg/l e média geral = 0,27mg/l) e  $\text{NO}_2^-$  (máxima = 0,48mg/l, mínima = 0,0mg/l e média geral = 0,03mg/l) novamente apontam para possíveis entradas de águas do SASG ou a ocorrência da mistura com águas das formações sedimentares sotopostas, sendo que para  $\text{NO}_2^-$  o P14 e o P20 excederam o valor máximo para o consumo humano, estipulado em 0,1mg/l. (BRASIL, 2011).

As análises de coliformes totais e fecais não demonstraram contaminação do SAG, resultado esperado pois como o SAG é geralmente totalmente confinado a possibilidade de contaminação é irrisória, pois, o processo de filtragem mecânica e química do recurso hídrico ocorre de forma lenta, diferentemente das águas do SASG, que se apresentam mais vulneráveis aos riscos de contaminação antrópica (SCHEIBE; HIRATA, 2008).

As características químicas das águas subterrâneas analisadas são apresentadas na Figura 2. Os resultados mostraram predominância tipológica química bicarbonatada, compreendendo 71,4% das amostras analisadas. Foram classificados no total 6 (seis) tipos hidroquímicos: 66,68% das amostras são de águas bicarbonatadas sódicas; os demais tipos correspondem, 9,52% a águas sulfatadas sódicas, 9,52% a águas cálcicas cloretadas, 4,76% sódicas cloretadas, 4,76% cálcicas sulfatadas e 4,76% apresentou característica bicarbonatada mista.



**Figura 2:** Diagrama de Piper demonstrando a inter-relação entre componentes iônicos

As águas subterrâneas geralmente apresentam boa qualidade por serem naturalmente filtradas pela porosidade das formações geológicas, assim, através de seu caminho, podem atingir zonas saturadas do subsolo e serem armazenadas em aquíferos. Como a água é uma substância muito reativa, ao infiltrar no meio poroso, solubiliza constituintes presentes nas formações geológicas, por isso as águas subterrâneas são frequentemente, consideradas ricas em sais minerais (DUTRA, p.15, 2013).

De forma geral o SAG apresenta boa qualidade e potabilidade da água. Para os poços que estão mais próximos a zonas de afloramento do SAG a salinidade apresenta-se baixa, e conforme a profundidade dos poços aumenta atingindo a zona de confinamento do SAG, a salinidade também tende a aumentar. Atenta-se para o uso na irrigação do recurso hídrico do SAG, pois, como a concentração de sais eleva a salinidade tal fonte pode ser inadequada para algumas culturas vegetais. Outro problema no uso das águas do SAG refere-se aos sistemas hidráulicos e mecânicos de bombeamento, pois, devido ao processo de incrustação que ocorre devido aos metais presentes na água, o trancamento dos sistemas torna muitas vezes inviável o uso das águas, que muitas vezes necessitam passar por tratamentos e processos de abrandamento das águas.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Foi possível constatar que de forma geral o SAG apresenta boa qualidade e potabilidade da água. Para os poços que estão mais próximos a zonas de afloramento do SAG a salinidade apresenta-se baixa, e conforme a profundidade dos poços aumenta atingindo a zona de confinamento do SAG a salinidade também tende a aumentar.

Também, constatou-se que a predominância tipológica química dos poços pesquisados do Sistema Aquífero Guarani é de águas bicarbonatadas cloretadas, compreendendo 67,1% das amostras analisadas.

Quanto às análises de coliformes totais e fecais, as amostras apresentaram resultados negativos, constatando-se que a camada de basalto que gera o confinamento do SAG colabora na filtração da água, evitando assim, a contaminação a partir da superfície.

Quanto às análises de pH, ocorreu uma variação de alcalinidade com mínimo de 7,2 a 10,18 e média geral de 8,71, o que tem relação direta com as concentrações de Ca e alcalinidade total. O pH é um importante parâmetro na avaliação da qualidade da água.

As análises de Fe e Mn apresentaram resultados ínfimos, conforme se esperava para as amostras do SAG: somente três amostras de poços apresentaram valores expressivos de Fe (P14 = 0,27mg/l, P16 = 1,69mg/l e P18 = 1,18), sendo que os dois últimos excederam o valor máximo permitido para consumo humano conforme Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). O Fe encontrado em tais poços provavelmente está relacionado com as entradas de águas do SASG (Sistema Aquífero Serra Geral) que não foram isoladas no processo de perfuração dos poços, uma das formas pela qual pode ocorrer a mistura das águas do SASG e do SAG.

Destaca-se a necessidade de constante monitoramento para avaliação das condições deste sistema integrado entre os dois aquíferos: alguns dos resultados indicam que há possíveis entradas de águas do SASG e a ocorrência da mistura das águas de formações sedimentares sotopostas.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio institucional do Projeto REDE GUARANI/SERRA GERAL – MMA / ANA / CNPq / CAIXA / FAPESC.

## **REFERÊNCIAS**

ANA. Agência Nacional de Águas. **Comitês de Bacias Hidrográficas (2016)**. Disponível em: <http://www.cbh.gov.br/DataGrid/GridSantaCatarina.aspx>. Acesso em 07-06-2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2011.

CARDOSO, F. B. da F.; OLIVEIRA, F. R. de. et al. **Mapa dos domínios hidrogeológicos de Santa Catarina**: uma ferramenta para gestão das águas subterrâneas do Estado. In: XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste. - - São Paulo, 2007. Disponível em: <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1189>. Acesso 07-06-2017.

DUTRA, Caroline. **Avaliação Hidroquímica dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral nos municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana**. 2013. 64p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013. Disponível: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1407/1/LD\\_COEAM\\_2013\\_1\\_04.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1407/1/LD_COEAM_2013_1_04.pdf). Acesso 07/06/2017. ESTADO DE SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do

FACCO, Janete. **As águas subterrâneas na gestão integrada dos recursos hídricos do município de Chapecó-SC**. (tese de doutorado - em andamento-2017). Universidade Federal de Santa Catarina.

FAPEU, Fundação de Amparo a Pesquisa e Extensão Universitária. **PROJETO REDE GUARANI/SERRA GERAL**. Coordenador Técnico do Projeto Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe. Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://rgsgsc.wordpress.com/metasp/>. Acesso 07-06-2017.

FREITAS, Marcos A.; ANTUNES, Rui B. **Água subterrânea: um recurso vital para o Oeste Catarinense**. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/22722/14919>. Acesso em 07-06-2017.

FUNCEME, **Qualigraf**, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sala de Imprensa. Comunicação Social. **Abate de animais, produção de leite, couro e ovos em 2016**. Disponível em: <http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=3391>. Acesso em 07-06-2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa população de Santa Catarina 92016**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=sc>. Acesso em 07-06-2017.

PORTAL DO AGRONEGÓCIO. 2017. **Oeste catarinense responde por 73% da produção leiteira**. Disponível: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/noticia/oeste-catarinense-responde-por-73-da-producao-leiteira-99561>. Acesso em 07-06-2017.

PIPER, A.M. 1994. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. *Trans. Am. Geophysical Union*. 25:911-923.

SANTA CATARINA. Secretaria da Agricultura e da Pesca. **Programa SC Rural (2017)**. Disponível em: <http://www.scrural.sc.gov.br/?cat=425>. Acesso em 07-06-2017.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável – SDS. **Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó**. Florianópolis, 2009. Disponível em: [http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/Comite%20Rio%20Chapeco/Irani/Publicacoes/01-Relatorio-Plano-Estrategico-Bacia-Chapeco---Etapa-A.pdf](http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/Comite%20Rio%20Chapeco/Irani/Publicacoes/01-Relatorio-Plano-Estrategico-Bacia-Chapeco---Etapa-A.pdf). Acesso em 18-04-2017

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável. **Plano Estadual de Recursos Hídricos (2017) - em construção**. Disponível em: [http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo\\_visualizar\\_dinamico.jsp?idEmpresa=33&idMenu=604&idMenuPai=603](http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=33&idMenu=604&idMenuPai=603). Acesso em 07-06-2017.

SCHEIBE, Luiz Fernando; HIRATA, Ricardo Cesar Aoki. **Contexto tectônico dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina**: uma revisão. *Águas Subterrâneas*, São Paulo, v. Suplemento - XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

SMEWW - **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, Edição 22. (2012).

WHO. 2003. **pH in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for Drinking-water Quality**. Geneva, WHO Press. (WHO/SDE/ WSH/03.04/12).