

# GEOQUÍMICA DO SISTEMA CARBONÁTICO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG) EM TERRITÓRIO BRASILEIRO

Carolina Stager Quaggio <sup>1</sup>, Didier Gastmans <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Centro de Estudos Ambientais - CEA. Rio Claro (SP). carolinaquaggio@hotmail.com;  
gastmans@rc.unesp.br

**Palavras-Chave:** Sistema Aquífero Serra Geral, sistema carbonático, geoquímica.

## INTRODUÇÃO

Devido à alta capacidade de armazenamento de águas de excelente qualidade, derrames de rochas basálticas constituem aquíferos de grande importância em diversas partes do globo (Deolankar, 1980; Deutsch et al., 1982; Gastmans et al., 2016, dentre outros). O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) constitui extenso aquífero formado por rochas basálticas da formação homônima, ocupando partes dos territórios do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. No Brasil, o SASG abrange os estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, apresentando águas de boa qualidade que são utilizadas para o abastecimento de diversas atividades em função das demandas locais e características do aquífero.

O SASG, associado a Formação Serra Geral, encontra-se inserido no contexto geológico da Bacia do Paraná, ocupando cerca de 1.000.000 km<sup>2</sup> na porção sudeste do continente Sul-Americano (Milani, 2004). Essa unidade é constituída por corpos magmáticos extrusivos e intrusivos (Frank et al., 2007), correspondentes aos derrames de lava e por corpos de rochas básicas como diabásios e gabros, respectivamente, intercalados a arenitos intertrapeanos de idade juro-cretácea (Cordani & Vadoros, 1967). São reconhecidos três litotipos principais: basaltos e andesitos relacionados aos conjuntos de rochas básicas-intermediárias, riolacitos e riolitos do tipo Palmas (ATP) e os riolacitos e quartzo latitos do tipo Chapecó (ATC) (Bellieni et al., 1986, Nardy et al., 2002).

As rochas que fazem parte destas sequências não apresentam porosidade natural, e o fluxo das águas se dá ao longo de fraturas e/ou zonas fraturadas condicionando a presença de discontinuidades no maciço rochoso (Athayde et al., 2007; Reginato et al., 2012). A estruturação dos derrames basálticos, que é constituída por uma série de unidades superpostas, condiciona a circulação de água subterrâneas, especialmente nas de topo e base dos derrames (Rosa Filho et al., 1987).

Ao infiltrar, águas superficiais trazem elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico para as águas subterrâneas na forma dissolvida de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Esse H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> é um facilitador do intemperismo de silicatos, consumindo o CO<sub>2</sub> na dissolução desse mineral e liberando, dentre outros produtos, íons de Ca<sup>+</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Com a infiltração da água a maiores profundidades, todo hidrogênio é consumido deixando apenas o CO<sub>3</sub> na solução ao mesmo tempo que há a saturação dos minerais dissolvidos, conseqüentemente havendo a precipitação desses minerais e fredda no processo de dissolução, visto que não há mais CO<sub>2</sub> disponível. No caso do Ca<sup>+</sup>, sua precipitação se dá na forma de calcita (CaCO<sub>3</sub>).

Por se tratar de um aquífero livre, a recarga de águas de chuva aporta quantidades de CO<sub>2</sub>, que é responsável pela dissolução mineral e conseqüente mineralização das águas do SASG, e a sua composição reflete, principalmente, a interação dessas águas ricas em CO<sub>2</sub> com os minerais que compõem os basaltos. Em sua grande maioria, as águas do SASG assumem composições do tipo bicarbonatada cálcio-magnésiana, neutras a ligeiramente alcalinas com baixo grau de mineralização, refletindo em valores de condutividade elétrica que raramente ultrapassam valores de 250 µS.cm<sup>-1</sup> (Athayde et al. 2007; Gastmans et al., 2016; 2017; Lastoria, 2002; Nanni, 2008; Reginato et al., 2012). Demonstrando a atuação de rochas basálticas como um eficiente reservatório de CO<sub>2</sub> atmosférico ao participarem do ciclo do carbono devido ao intemperismo de silicatos que convertem o CO<sub>2</sub> atmosférico em fluxos de bicarbonatos, levando a precipitação de carbonatos e sua sedimentação nos oceanos (Dessert et al., 2003).

Tendo em vista o comportamento do sistema carbonático em formações basálticas, o trabalho tem como objetivo utilizar a log pressão de CO<sub>2</sub> e o índice de saturação em Calcita como parâmetros para a caracterização do comportamento das águas do SASG e sua interação com águas de diferentes origens, superficial (através da infiltração e percolação) e subterrânea (mistura de águas).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada consistiu na criação de um banco de dados de laudos hidroquímicos a partir de estudos pré-existentes sobre o SASG. Com o intuito de criar um espaço amostral suficiente para a caracterização do SASG como um todo, buscou-se fontes de dados separadamente para cada estado de abrangência do aquífero. Com a consolidação do banco de dados, fez-se a seleção geográfica dos laudos a partir do perímetro do SASG no software ArcGis 10.3. Os laudos que se encontravam fora do SASG foram desconsiderados da análise, enquanto que os que estavam dentro do SASG tiveram o Erro de Balanço de Carga calculados através da equação:  $\text{Erro (\%)} = ((\sum \text{ânions} - \sum \text{cátions}) / (\sum \text{ânions} + \sum \text{cátions})) * 100$ . Considerou-se valores aceitáveis de erro menor ou igual a 15%.

Os laudos com o erro maior que 15% foram descartados, e com os de erro menor que 15% foi calculado o Índice de Saturação em Calcita (IS Calcita) e a Log Pressão de CO<sub>2</sub> com o uso do software Phreeqc Interactive 3.4.0-12927 (Parkhurst & Appelo, 1999). A partir dos valores obtidos fez-se a relação entre tais parâmetros através do uso de métodos gráficos e da distribuição espacial.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A compilação dos autores selecionados; quantidade inicial de laudos hidroquímicos antes e após a seleção geográfica; e classificação dos laudos em relação ao erro de balanço de carga é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Compilação dos autores dos laudos hidroquímicos do banco de dados com compilação dos laudos classificados pela seleção geográfica e o erro de balanço de carga.

Estado	Autor e Ano	Total de Poços	Total de Poços Selecionados	Erro de Balanço de Carga	
				> 15%	≤ 15%
Mato Grosso do Sul	Lastoria (2002)	71	65	40	25
Paraná	SANEPAR (200-?*)	438	405	269	136
Rio Grande do Sul	Nanni (2008) e CPRM (2016)	3384	2202	935	1267
Santa Catarina	CPRM (2016)	231	215	178	37
São Paulo	Gastmans (2013, 2016 e 2017)	320	120	22	98
Total		4444	3007	1444	1563

\*O ano de origem que apresenta o símbolo (?) na última dezena indicam a década provável de geração dos dados. CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. SANEPAR: Companhia de Saneamento do Paraná.

Apesar da grande quantidade inicial de laudos, apenas cerca de 35% são aptos para o cálculo do IS Calcita e Log Pressão de CO<sub>2</sub>. O estado do Rio Grande do Sul é o que apresentou a maior quantidade de laudos devido as diversas campanhas de amostragem do programa SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas promovido pela CPRM, com 81% dos laudos aptos. O gráfico de relação entre o IS Calcita e a Log Pressão de CO<sub>2</sub> no SASG é observado no Gráfico 1.

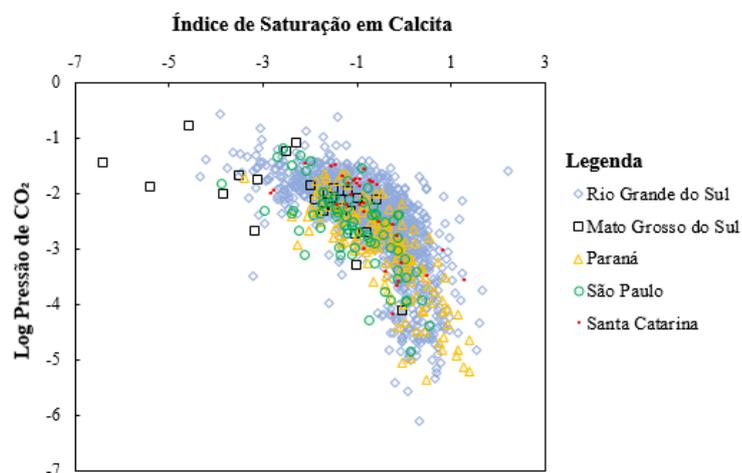


Gráfico 1. Relação entre a log pressão de CO<sub>2</sub> com o índice de saturação em calcita para os laudos com erro de balanço de carga menor ou igual a 15% no SASG.

A partir do gráfico 1 é possível identificar a presença de dois grupos: o primeiro insaturado em Calcita e Log PCO<sub>2</sub> > -3; e o segundo saturado em Calcita e Log PCO<sub>2</sub> < -3, marcado por um aumento abrupto do IS Calcita a partir de seu valor 0.

O primeiro grupo pode ser interpretado como águas menos evoluídas geoquimicamente, em sistema aberto, e próximas a superfície com influência direta da atmosfera, devido a maior quantidade de CO<sub>2</sub> proveniente de águas de infiltração, situação em conformidade com a condição de aquífero livre do SASG. O segundo grupo é considerado como águas geoquimicamente mais evoluídas, em sistema fechado, devido a dissolução dos

alumino-silicatos presentes nos basaltos do SASG que resultam na precipitação de minerais carbonatados comprovado pelo aumento do IS Calcita nesse grupo, cenário também apontado por Gastmans et al. (2016).

Na figura 1, é possível observar a existência de um zoneamento controlando a distribuição das amostras dos dois grupos identificados. As amostras do primeiro grupo localizam-se na porção central do MS e do PR; em todo o estado de SC; no sudoeste e oeste do RS; e nordeste de SP. Já o segundo grupo encontra-se principalmente na divisa do RS e SC; sudeste do RS; na divisa do PR e SP; e sudoeste de SP.

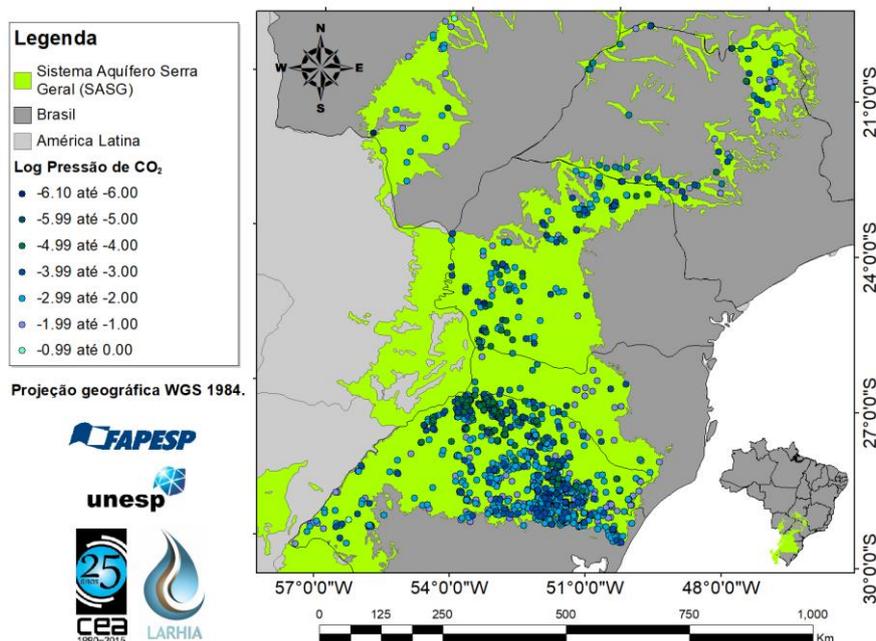


Figura 1. Distribuição espacial dos laudos classificados de acordo com a log pressão de CO<sub>2</sub> no SASG. Os pontos de cores escuras representam locais mais insaturados e os de cores claras mais saturados.

As amostras com maiores pressões parciais de CO<sub>2</sub>, podem ser associadas a condições do relevo caracterizando possíveis zonas de recarga do SASG, por se localizarem nas cotas mais elevadas nas bordas da área de ocorrência dos basaltos. Já os pontos do segundo grupo estão associados tanto quanto a característica predominante fraturada do SASG, composta por discontinuidades locais nos sistemas de fraturas havendo misturas de águas de diferentes composições na mesma região (sudeste do RS e sudoeste de SP); assim como a interação das águas do SASG com o Sistema Aquífero Guarani (SAG) sotoposto a ele (divisa de RS e SC e divisa do PR e SP),

identificada pela presença de amostras mais insaturadas nas regiões conhecidas de surgência do SAG, identificadas por OEA (2009), e hidrogeoquímica regional caracterizada por Quaggio et al. (2018).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Athayde, G. B.; Müller, C. V.; Rosa Filho, E. F.; Hindi, E. C. Estudo sobre os tipos das águas do Aquífero Serra Geral, no município de Marechal Cândido Rondon - PR. *Revista Brasileira de Águas Subterrâneas*, v. 21, n. 1, p. 111-122, 2007.
- Bellieni, G., Comin-Chiaromonti, P., Marques, L.S., Melfi, A.J., Nardy, A.J., Papatrechas, C., Piccirilo, E.M., Roisemberg, A., 1986. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná Plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. *Journal of Petrology*, n.27, p.915-944.
- Cordani, U. G.; Vadoros, P. Basaltic rocks of the Paraná basin. In: *Problems in Brazilian Gondwana geology*. [S.l.: s.n.], 1967.
- Dessert, C.; Dupré, B.; Gaillardet, J.; François, L. M.; Allègre, C.J. 2003. Basalt weathering laws and the impact of basalt weathering on the global carbon cycle. *Geochemical Geology*, v.202, p.257-273.
- Deolankar, S.B. The Deccan Basalts of Maharashtra, India – Their Potential as Aquifers. *Ground Water*. v.18 (5), p.434-437. 1980.
- Deutsch, W.J.; Jenne, E.A.; Krupka, K.M. Solubility Equilibria in Basalt Aquifers: The Columbia Plateau, Eastern Washington, USA. *Chemical Geology*. n.36, p. 15-34. 1982.
- Frank, H.T.; Gomes, M. E. B.; Formoso, M. L. L.; Garcia, G. G. Contaminação de fluor dos aquíferos da bacia do Paraná derivada da desgaseificação de intrusiva da formação Serra Geral: nova hipótese. In *Anais do XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste*, Natal, 2007.

- Gastmans, D.; Hutcheon, I.; Menegário, A. A.; Chang, H.K. 2016. Geochemical evolution of groundwater in a basaltic aquifer based on chemical and stable isotopic data: Case study from the Northeastern portion of Serra Geral Aquifer, São Paulo state (Brazil). *Journal of Hydrology*, v.535, 598-611.
- Gastmans, D.; Menegário, A. A.; Hutcheon, I. 2017. Stable isotopes, carbon-14 and hydrochemical composition from a basaltic aquifer in São Paulo State, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v.76, n. 150.
- Lastoria, G., 2002. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 150p.
- Milani, E. J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.; Brito-Neves, B. B. *Geologia do Continente Sul-americano: Evolução da Obra de Fernando Flavio Marques de Almeida*. Rio de Janeiro, 2004. p. 239-265.
- Nanni, A. S. O Flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico. 127f. Dissertação (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- Nardy, A.J.R., Oliveira, M.A.F., Betancourt, R.H.S., Verdugo, D.R.H., Machado, F.B., 2002. Geologia e Estratigrafia da Formação Serra Geral. *Revista Geociências*, v.21 (2), p.15–32.
- OEA. Aquífero Guarani: programa estratégico de ações [Guarani Aquifer: strategic program of actions]. OEA, Washington, DC. 2009. 424 pp.
- Parkhurst, D.L., Appelo, P., 1999. User's Guide to PHREEQC (Version 2) – A Computer Program for Speciation, Speciation, batch-reaction, one-dimensional transport and inverse geochemical calculations. USGS, 1999. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations, Report 99-4259, 310p.
- Quaggio, C. S.; Gastmans, D.; Kirchheim, R. E.; Batista, L. V. 2018. Variações das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral em território brasileiro e sua relação com anomalias hidrogeoquímicas. *Revista Brasileira de Águas Subterrâneas*. Submetido - Em revisão.
- Reginato, P. A. R.; Ahlert, S.; Gilioli, K. C.; Cemin, G. Caracterização hidrogeológica e hidroquímica do aquífero livre do manto de alteração da Formação Serra Geral, na bacia hidrográfica Taquari-Antas, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. *Ambi-Agua, Taubaté*, v. 7, n. 2, p. 143-162, 2012.
- Rosa Filho, E. F.; Salamuni, R.; Bittencourt, A. V. L. Contribuição ao estudo das Águas Subterrâneas no Basaltos do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, n.37, p.22-52. 1987.