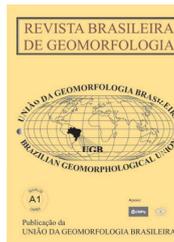


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 20, nº 1 (2019)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1440>



COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS DE OBTENÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS NAS ÁGUAS: CONTRIBUIÇÃO PARA OS ESTUDOS DE DESNUDAÇÃO GEOQUÍMICA

COMPARISON OF TECHNIQUES TO OBTAIN TOTAL DISSOLVED SOLIDS IN WATER: CONTRIBUTION TO GEOCHEMICAL DENUDATION STUDIES

Miguel Fernandes Felipe

*Departamento de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, S/N, Juiz de Fora, Minas Gerais. CEP: 36036-330. Brasil
E-mail: miguel.felippe@ufff.edu.br*

José Oliveira de Almeida Neto

*Departamento de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, S/N, Juiz de Fora, Minas Gerais. CEP: 36036-330. Brasil
E-mail: jose.oliveira95@hotmail.com.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
02/06/2018
Aceito (Accepted):
11/10/2018

Palavras-chave:

Intemperismo; Desnudação;
Hidroquímica; Metodologia.

Keywords:

Weathering; Denudation;
Hydrochemistry; Methodology.

Resumo:

No domínio tropical, os processos químicos são extremamente importantes para compreender a evolução da paisagem. A água desempenha um papel primordial nesse sentido, participando das reações químicas do intemperismo, removendo material dissolvida dos solos e rochas e transportando-os através do sistema fluvial. Um dos parâmetros mais comumente usados para modelar a denudação geoquímica é o Sólidos Totais Dissolvidos (TDS). Devido ao seu baixo custo, muitos trabalhos em geomorfologia têm utilizado o TDS como forma de alcançar os processos químicos de evolução do relevo, embora poucos deles estejam de fato preocupados com as vantagens e limitações das diversas técnicas existentes para medir o TDS. Este trabalho compara alguns desses procedimentos, mostrando as diferenças das respostas de acordo com a metodologia escolhida. Os resultados mostram que as comparações devem ser feitas com muito cuidado, pois os valores absolutos de TDS para uma mesma amostra, medidos por diferentes técnicas, podem apresentar grande variação.

Abstract:

In the tropical zones, chemical processes are extremely important to comprehend the landscape evolution. Water plays a main role in this sense, participating in the chemical reactions of weathering, removing dissolved mass from the soils and rocks, and transporting it through the fluvial system. Total Dissolved Solids (TDS) is a common parameter used to modelling the geochemical denudation. Due to its low cost, many papers in geomorphology have been using the TDS as a way to achieve the chemical processes of relief evolution. Although, few of them are

concerned about the advantages and limitations of the techniques to measure the TDS. This works compares some of these methods, showing the differences of the responses according to the chosen methodology. The results show that comparisons have to be made very carefully, as the absolute values of TDS for a same sample, measured by different techniques, can have great variation.

Introdução

A geomorfologia contemporânea, em sua ânsia por desvelar os mecanismos da morfodinâmica e morfogênese da paisagem, tem-se debruçado cada vez mais no desenvolvimento de metodologias capazes de interpretar, mensurar e comparar os processos que modelam o relevo. Com isso, a passagem do século XX para o século XXI foi marcada pela proliferação de trabalhos exploratórios, com base em estudos de caso, focados em fragmentos do sistema geomorfológico (VITTE, 2012).

Por um lado, esse movimento contribui significativamente com a introdução de novas técnicas até então inexploradas, subsidiadas, sobretudo, por conceitos da química analítica e radioisotópica, do geoprocessamento e sensoriamento remoto, e também, da estatística. Por outro lado, muitas vezes tais propostas são repetidas acriticamente, sem os devidos cuidados de validação empírica e parcamente apoiadas nas bases teórico-epistemológicas.

Parte do problema pode estar relacionado à divisão de trabalhos que se posta de modo recorrente na geomorfologia brasileira e internacional, onde os atores acadêmicos fragmentam os conhecimentos. Assim, muitas vezes, as análises laboratoriais não são acompanhadas pelo proponente do trabalho, que se detém apenas aos resultados tabulados, ignorando os meandros técnicos de sua própria proposta. A consequência são trabalhos analiticamente robustos (no viés do processamento dos dados), porém, rasos do ponto de vista de suas contribuições teóricas.

Um claro exemplo é a extensiva utilização de técnicas de mensuração da desnudação geoquímica (instantânea) via interpretação dos sólidos totais dissolvidos (TDS¹) nas águas fluviais. No domínio Tropical Úmido, onde os processos de hidrólise são preponderantes na alteração dos materiais geológicos (PRESS *et al.*, 2006; LEPSCH, 2016), uma considerável carga química é solubilizada nas águas subsuperficiais e subterrâneas como resíduos do intemperismo. A lixiviação desses materiais e a

consequente exfiltração dessas águas para formação da drenagem fluvial ressalta a importância desse conjunto de processos na evolução das paisagens úmidas. Associando-se isso ao baixo custo e determinadas técnicas de aferição do TDS, um grande número de trabalhos vem sendo realizados no intuito de interpretar a evolução geoquímica dos sistemas geomorfológicos brasileiros (SALGADO e VALADÃO, 2003; SALGADO *et al.*, 2004; REZENDE *et al.*, 2010; LEÃO *et al.*, 2012; BARRETO *et al.*, 2012; FELIPPE e MAGALHÃES JR., 2016; MAGALHÃES JR. *et al.*, 2018).

Diante desse cenário, esse artigo propõe uma reflexão acerca das técnicas de obtenção de um dos parâmetros mais utilizados na geomorfologia fluvial e hidrogeomorfologia: os sólidos totais dissolvidos (TDS). Objetiva-se comparar estatisticamente os resultados de três diferentes técnicas de determinação do TDS realizadas para o mesmo conjunto de amostras de águas oriundas de nascentes de cursos d'água. Com isso, espera-se ampliar as discussões sobre as metodologias que utilizam esse parâmetro, bem como subsidiar com argumentos teóricos e metodológicos a escolha da técnica mais adequada para estudos geomorfológicos.

Os Sólidos Totais Dissolvidos como um parâmetro para análise geomorfológica

Quimicamente, o TDS representa o montante de uma gama de compostos solubilizados na água, seja na forma coloidal, molecular ou iônica, indicando a massa total de matéria dissolvida por unidade de volume de água. Assim, varia significativamente com o pH e a temperatura da água, parâmetros que determinam a capacidade de solubilização dos compostos (FEITOSA e MANOEL-FILHO, 2000). Do ponto de vista geomorfológico, sua importância remete à mineralização das águas, que está associada à perda geoquímica via lixiviação, configurando uma parcela importante da desnudação.

Enquanto parâmetro de qualidade da água, o TDS possui grande importância ecológica e sanitária.

¹ Também reconhecido, mesmo na literatura brasileira, pela sua sigla em inglês: TDS – *total dissolved solids*.

Determinadas comunidades biológicas podem se desenvolver em faixas restritas de TDS, afetando a biodiversidade dos ambientes aquáticos (WEBER-SCANNELL e DUFFY, 2007). Além disso, o TDS também é utilizado como referência para produtividade e biomassa de ambientes lacustres (PREPAS, 1983). Por outro lado, uma parcela importante do TDS está associada à salinidade das águas, colocando, assim, limitações sanitárias aos seus eventuais usos. Todavia, não se deve ignorar o fato de que o TDS é uma medida de massa, podendo ser definido por inúmeros compostos.

Na hidrogeomorfologia, o TDS é utilizado na caracterização geoquímica de águas superficiais, subsuperficiais e subterrâneas (FELIPPE, 2013; SPATTI JR *et al.*, 2014; COUTO JR, *et al.*, 2016). Configura-se como um parâmetro síntese da mineralização das águas, contribuindo na identificação de aquíferos de origem de águas superficiais, na compreensão do tempo de residência das águas subterrâneas, na interpretação dos processos de percolação e lixiviação, entre outras atribuições. No olhar da geomorfologia fluvial, o TDS é um parâmetro chave na compreensão da desnudação geoquímica em bacias hidrográficas, sendo utilizado em modelagens de rebaixamento do relevo e evolução da paisagem. A premissa é que a massa perdida por solubilização de compostos químicos, ao longo do tempo, representa uma importante parcela da desnudação continental, sobretudo em ambientes tropicais.

A literatura tradicional divide a carga sedimentar fluvial em três tipos: solução, suspensão e carga de fundo (CHRISTOFOLETTI, 1974). Essa divisão está diretamente relacionada ao comportamento físico-químico dos sedimentos fluviais. Sedimentos de maior granulometria, como areias, cascalhos e seixos (ou maiores) são transportados via arraste, rolamento ou saltação no fundo do leito fluvial; sedimentos menores como as argilas, após o rompimento da inércia, são transportados em suspensão; já sedimentos coloidais e compostos orgânicos e minerais dissolvidos, são transportados como solução na água fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1974; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017). Esses últimos, compõem o TDS dos rios.

Summerfield (1991) aponta que em uma escala global, a denudação geoquímica corresponde a um terço da denudação total, sendo espacial e temporalmente variável. Rochas menos resistentes à alteração

intempérica e a maior disponibilidade de água são algumas das condições ambientais que favorecem os processos de intemperismo químico, aumentando o TDS das águas. Thomas (1994) ressalta que em climas tropicais, em que as paisagens são dominadas por espessos mantos de alteração, derivados de processos geo-pedogenéticos de origem hidroquímica (hidrólise, hidratação, dissolução), o percentual da desnudação geoquímica na desnudação total pode ser consideravelmente maior. Esse argumento ressalta a importância da porção química da desnudação em grande parte do território brasileiro.

Inegavelmente, há uma grande variabilidade de concentrações de solutos na água. De um modo geral, a salinidade média nos rios de todo o mundo gira em torno de 120mg/L, sendo o bicarbonato e o cálcio, respectivamente, os principais ânions e cátions encontrados em condições naturais (WEBER-SCANNELL e DUFFY, 2007). O que controla fundamentalmente a variabilidade espacial do TDS são os processos de intemperismo químico e lixiviação dos materiais geológicos. Nesse sentido, o clima, o relevo, os organismos vivos, o material de origem e o tempo são determinantes na mineralização das águas e conseqüentemente nos TDS, uma vez que são os fatores controladores do intemperismo químico (LEPSCH, 2016).

De um modo geral, há três metodologias amplamente reconhecidas e utilizadas para mensuração/cálculo do TDS:

- i) Soma de cátions e ânions (FEITOSA e MANOEL-FILHO, 2000; BLIGHT *et al.*, 2012; SALGADO *et al.*, 2004; SARDINHA *et al.*, 2012; FELIPPE e MAGALHÃES JR., 2016);
- ii) Fatores de multiplicação da Condutividade Elétrica (GURGEL, 1982; SILVA, 1983; CARMO *et al.*, 2005);
- iii) Mensuração direta por gravimetria (SALGADO e VALADÃO, 2003; SAMPAIO *et al.*, 2007; MOURA, 2008; SILVA *et al.*, 2010; BERTOSSI *et al.*, 2013).

A soma de compostos representa uma técnica indireta de mensuração do TDS, partindo-se do princípio de que este parâmetro expressa o valor total da carga iônica ou coloidal presente na amostra (FELIPPE, 2013). Nesse sentido, em trabalhos analíticos, em que a assinatura geoquímica da água é averiguada (incluindo aí elementos traço), pode-se realizar a soma das concentrações de cátions, ânions e coloides para

alcançar o TDS (Equação 1), que também pode ser obtido pela soma resíduo seco² com a fração volátil dos carbonatos (FEITOSA e MANOEL-FILHO, 2000).

$$TDS \cong \Sigma cations + \Sigma anions + \Sigma coloides \quad (\text{Equação 1})$$

Diversos trabalhos utilizam a condutividade elétrica (EC) das águas para estimar o TDS. O pressuposto é de que quanto maior a quantidade de material dissolvido, maior será a capacidade da solução em conduzir energia elétrica (FELIPPE, 2013). Hubert e Wolkersdorfer (2015) definem que a EC como a capacidade de uma substância aquosa de conduzir corrente elétrica. Seu valor é alterado principalmente pela concentração de eletrólitos dissolvidos e gases.

A EC teórica da água, determinada pela condutividade iônica dos íons H⁺ e OH⁻, é muito baixa, da ordem de 0,055µS/cm. Por isso, pode ser utilizada como um parâmetro de pureza da água, visto que valores acima desse limiar denunciariam a presença de outros íons em solução (BATISTA e FELIPE, 2007). Ressalta-se, porém, que a EC de uma mesma solução aquosa varia de acordo com a temperatura, visto que o movimento dos íons é diretamente proporcional à temperatura (HEM, 1985).

Sampaio *et al.* (2007) e Feitosa e Manoel-Filho (2000) salientam a existência da relação linear entre os dados de EC e TDS em águas residuárias (Equação 2). Os referidos autores recomendam a utilização de um fator de multiplicação (k) entre 0,55 e 0,75, sendo 0,7 o valor comumente atribuído. Porém, é observado na literatura especializada uma variação entre 0,50 a 0,90, de modo que águas mais básicas demandam um fator maior, enquanto águas ácidas apresentam os mais baixos fatores de multiplicação (WALTON, 1989; FEITOSA e MANOEL-FILHO, 2000; MARANDI *et al.*, 2013).

$$TDS = K \times EC \quad (\text{Equação 2})$$

Notoriamente, ao utilizar um fator de multiplicação para calcular/estimar o TDS está se valendo de uma aproximação empírica que será tolerável na medida em que se tenha o real controle dos fatores ambientais que afetam as águas (WALTON, 1989). Assim, é necessário a utilização de um fator k coerente, afim de haver maior

acurácia nos resultados de TDS, o que nem sempre é verificado na literatura.

A técnica recomendada pelos manuais mais tradicionais de química analítica para mensuração direta do TDS é via gravimetria. Segunda APHA (1995), os sólidos dissolvidos são aqueles não retidos em filtros de 2,0µm. Por esse motivo, a técnica demanda a filtração das amostras *in natura* e posterior secagem em cápsulas de massa conhecida em temperatura controlada para evitar volatilização de compostos. Após secagem e resfriamento, as cápsulas com os depósitos são pesadas novamente para comparação e definição do peso do resíduo de evaporação.

A mensuração direta, então, demanda sobremaneira atenção aos procedimentos laboratoriais para minimizar eventuais erros humanos. A precisão da medição direta do TDS é afetada pelas condições laboratoriais e pelas habilidades do técnico (WALTON, 1989).

Entre os elementos de maior complexidade, está a temperatura de secagem. De acordo com Walton (1989) o aumento da temperatura necessária para o procedimento gravimétrico pode acarretar em uma perda de 50% do total de íons dissolvidos de bicarbonato na forma de CO₂ (gasoso), além de decompor parcialmente compostos orgânicos. Hem (1985) e Humbert e Wolkersdorfer (2015) apontam a necessidade de evidenciar a temperatura de secagem das amostras em trabalhos que utilizam essa técnica, justamente pela possibilidade de transformação de alguns compostos durante o processo.

Por não serem claras as vantagens e desvantagens de cada método de análise de TDS, a literatura acadêmica nacional e internacional divaga entre as várias possibilidades. De um modo geral, é conhecida a complexidade da comparação de resultados obtidos por métodos diferentes que, muitas das vezes, não são comparáveis (FEITOSA e MANOEL-FILHO, 2000). Porém, isso nem sempre é verificado nas publicações científicas. Inclusive, foram verificados inúmeros trabalhos que utilizam o TDS para algum fim, mas não deixam claro qual o método utilizado, como Szikszay e Teissedre (1981), Cruz e Peixoto (1991), Wildermuth (1991), Chaudhuri e Ale (2013), Kent e Landon (2013).

Com base nessa discussão, espera-se assim, contribuir no âmbito da hidrogeomorfologia, geomorfologia fluvial e evolução do relevo, clarificando as (im)possibilidades de exploração desse parâmetro

² Assume-se que o resíduo seco é o peso dos sais solubilizados na água após sua evaporação não controlada (com a volatilização de alguns compostos).

recorrentemente utilizado, por vezes, sem o devido senso crítico.

Área de estudo

Para efetivação da proposta, tomou-se duas áreas de estudo que possuem diferenças significativas do ponto de vista geológico-geomorfológico, o que

justifica suas escolhas. Na Serra do Cipó (Espinhaço Meridional) foram amostradas águas de 12 nascentes, enquanto 11 nascentes foram amostradas na Depressão do Alto-Médio São Francisco, no município de Lagoa Santa-MG. As áreas distam aproximadamente 40km uma da outra, encontrando-se ao norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais (Figura 1).

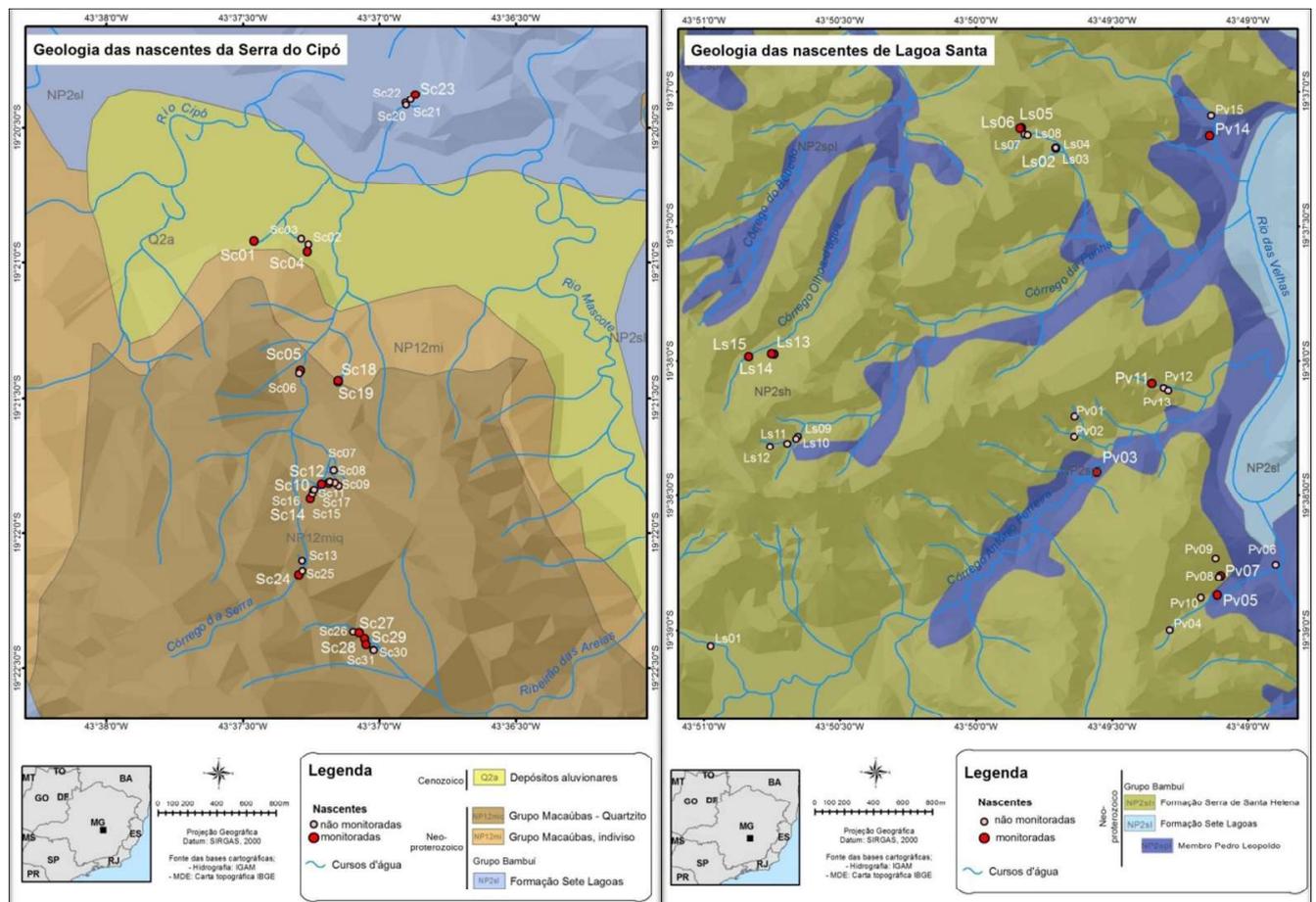


Figura 1 - Localização das nascentes estudadas em seus respectivos contextos geológicos. Fonte: bases cartográficas CPRM, IGAM e IBGE.

A Serra do Cipó é uma subunidade do Espinhaço Meridional e constitui o divisor hidrográfico entre as bacias do rio Doce (leste) e São Francisco (oeste). Sua morfologia é caracterizada por sequência de cristas e vales estruturados, intervalados por escarpas que engendram um relevo em degraus. Abreu (1995) identificou diversas frentes de cavalgamento que, claramente, coincidem com escarpas de falha, condicionando a drenagem e estruturando vales com alto grau de dissecação. Na borda oeste do planalto, o contato entre unidades geológicas de diferentes

resistências é marcado por escarpas erosivas de elevada altimetria (SAADI, 1995; ALMEIDA-ABREU, 1995; ALMEIDA-ABREU e RENGGER, 2002; MAGALHÃES JR *et al.*, 2015).

As altitudes partem de aproximadamente 800m no sopé oeste e leste, atingindo marcas superiores a 1.500m nos compartimentos de cimeira. Desníveis superiores a 300m de altitude marcam recorrentemente as escarpas, como no vale estruturado do rio Mascate.

Pedologicamente, predominam Neossolos Litólicos originados em material eluvial arenoso e de

pouca espessura. As coberturas coluvionares ocorrem, preferencialmente, nas encostas côncavas de vales fluviais e na base das escarpas na forma de rampas reafeiçoadas pelo escoamento superficial. Os materiais aluviais se sobressaem na coalescência das planícies dos rios Mascote e Bocaina (a partir da qual, inicia-se a toponímia rio Cipó), perfazendo espessos pacotes.

A Serra do Cipó é geologicamente caracterizada por seqüências metassedimentares da bacia sedimentar do Espinhaço, com ocorrência de depósitos glaciogênicos neoproterozóicos do Grupo Macaúbas em parte considerável da extensão de sua borda oeste. Ocorrem contatos com as rochas clasto-químicas do Grupo Bambuí, a oeste, e granitoides arqueanos, a leste (ALMEIDA-ABREU e RENGGER, 2002). Na área de estudo, as unidades litoestratigráficas mapeadas preconizam quartzitos e metadiamicititos, com ocorrência de rochas carbonáticas ao norte e uma unidade aluvionar cenozoica na planície do rio Cipó.

Segundo as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia, o clima do município de Santana do Riacho, onde localizam-se as nascentes estudadas na Serra do Cipó, é do tipo Cwa de Koppen. A precipitação média anual é de 1457mm, com aproximadamente 93% das chuvas no período entre outubro e março. A temperatura média é de 21,1°C.

A Depressão do Alto-Médio São Francisco define uma unidade geomorfológica dissecada sobre as rochas clastoquímicas do Grupo Bambuí (Supergrupo São Francisco). Segundo Uhlein *et al.* (1995) e Alkimim (2004) entre 600 a 650Ma, os depósitos clasto-químicos do Grupo Bambuí foram originados por uma generalizada transgressão marinha. Do topo para a base, a estratigrafia regional apresenta a Formação Serra de Santa Helena (rochas siliciclásticas pelíticas), a Formação Sete Lagoas (rochas carbonáticas diferenciadas dos Membros Lagoa Santa e Pedro Leopoldo) e o complexo gnáissico-migmatítico arqueano (BERBERT-BORN, 2002).

De uma forma geral, a altitude é mediana com pequena amplitude entre os topos e os vales. Os terrenos mais elevados atingem entre 900 e 1000m, estando embasados pelos metapelitos da Formação Serra de Santa Helena. O fundo dos vales dos principais canais (afluentes do rio das Velhas) tende a ocorrer sobre rochas da Formação Sete Lagoas, em altitudes na faixa dos 700m, chegando a aproximadamente 600m na calha

dos principais rios que cortam a depressão carbonática, até o mínimo de 500m no rio São Francisco, à altura da cidade de Pirapora.

A carstificação é comum em terrenos do Membro Lagoa Santa, sobretudo onde afloram os calcários mais puros. Já nas áreas onde há ocorrência dos calcissiltitos do Membro Pedro Leopoldo esse processo não é uniforme, estando condicionado pela composição mineralógica e estrutural das rochas dessa unidade.

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia, o município de Lagoa Santa (que abriga as nascentes estudadas na Depressão do São Francisco) possui pluviosidade média anual de 1342mm, mal distribuída ao longo do ano hidrológico, com aproximadamente 90% do acumulado de precipitação entre os meses de outubro e março. A temperatura média anual é de 21,6°C, perfazendo um clima tipo Aw de Koppen.

Metodologia

A organização metodológica do trabalho se estruturou em três etapas: i) definição das técnicas a serem utilizadas; ii) coleta das amostras e análises laboratoriais; iii) comparações estatísticas e interpretações geomorfológicas.

A partir da consulta de artigos recentemente publicados, foram reconhecidas as três técnicas mais recorrentes para definição do TDS (gravimetria, fator de multiplicação e soma de compostos). Elas foram elencadas para aplicação neste estudo. As análises foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências, no Laboratório de Cromatografia Líquida do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear e no Laboratório de Geoquímica do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa, todos na Universidade Federal de Minas Gerais.

Para aplicação das técnicas, foram realizadas coletas de amostras de água em vinte e três nascentes, no mês de fevereiro de 2012. Foram coletadas amostras de 500mL e acondicionadas em frascos identificados de polipropileno. Sob refrigeração, as amostras seguiram para análise laboratorial.

No Laboratório de Geomorfologia (IGC/UFGM) foi determinada a condutividade elétrica (EC), com a utilização de condutivímetro de bancada. Logo após, foi feita a filtração a vácuo do restante das amostras,

com filtros de 0,45 µm, e foram determinadas as concentrações de carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), sílica (SiO_2). A concentração de carbonato e bicarbonato foram determinadas em titulador automático, com a titulação de HCl. A sílica foi mensurada por fotocolorimetria, no fotocolorímetro AT 100PB (Alfakit), com curva de calibração ($R^2=0,9996$) construída a partir de amostras que possuíam concentrações de 0,124 mg/L a 3,100 mg/L. As alíquotas restantes foram destinadas às análises subseqüentes.

As concentrações de amônio (NH_4^+), brometo (Br⁻), cloreto (Cl⁻), fluoreto (F⁻), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), potássio (K), sódio (Na) e sulfato (SO_4^{2-}) foram analisados no Laboratório de Cromatografia Líquida do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. No Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa do Instituto de Geociências (IGC/UFMG) foram analisadas as concentrações de alumínio (Al), bário (Ba), cádmio (Cd), cálcio (Ca), chumbo (Pb), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro total, magnésio (Mg), manganês (Mn), níquel (Ni), titânio (Ti) e zinco (Zn) pelo método de espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

O TDS foi calculado através das três técnicas pré-determinadas. Conforme orientação da APHA (1995), foi aplicada a técnica de mensuração por gravimetria, em que a massa residual seca é dividida pelo volume da amostra. Uma capsula de porcelana seca é pesada vazia, posteriormente, 100mL da amostra filtrada é adicionada e colocada para secagem em estufa pré-aquecida a 180°C durante 24 horas. Após evaporação da água, a cápsula com o resíduo depositado é pesada novamente. A comparação da massa final e inicial representa a massa de solutos na amostra. O TDS foi reportado em mg/L.

Com os resultados das análises cromatográficas e espectrométricas de especiação dos compostos em nível traço, foi realizada a soma dos compostos conforme a Equação 1, seguindo os preceitos de Feitosa e Manoel-Filho (2000).

O cálculo do TDS pelo fator de multiplicação da EC foi realizado inicialmente para um k de 0,7, seguindo o valor mais utilizado na literatura encontrada (Equação 2). Porém, conforme indicam os estudos de base (WALTON, 1989; FEITOSA e MANOEL-FILHO, 2000; SAMPAIO *et al.*, 2007; MARANDI *et al.*, 2013), há um intervalo a ser considerado de acordo com as características das unidades aquíferas.

Felippe *et al.* (2015), em estudo prévio, identificaram os sistemas aquíferos de origem das nascentes utilizadas nesse estudo. A partir disso, propôs-se um fator de multiplicação específico para cada sistema aquífero (KSA), que leva em conta as características intrínsecas à assinatura geoquímica das águas.

O fator KSA foi calculado através da média dos valores do TDS gravimétrico e da soma de compostos, conforme a Equação 3. A Equação 4 representa o cálculo do TDS a partir do KSA.

$$KSA = \bar{x}(\bar{x}(n \text{ TDS Gravimétrico}); \bar{x}(n \sum \text{ compostos})) \quad (\text{Equação 3})$$

Portanto, o TDS_{KSA} é calculado pela Equação 5.

$$\text{TDS}(\text{KSA}) = \text{KSA} \times \text{EC} \quad (\text{Equação 4})$$

Após as análises e cálculos, os dados foram tabulados apresentando comparativamente o resultado para a técnica gravimétrica (TDS_{GRAV}), pela soma de compostos (TDS_{COM}), pela aplicação do fator de multiplicação padrão (TDS_{K}) e pelo fator de multiplicação por sistema aquífero (TDS_{KSA}). Foram realizadas análises estatísticas de regressão linear, correlação e cálculos dos intervalos de respostas para viabilizar a comparação dos resultados. A tabulação, organização e análise estatística dos dados foi realizada no *software* Excel® 2016.

Resultados e Discussão

Como o interesse deste estudo não é apontar uma eventual “melhor” técnica para determinação do TDS, faz-se lúcido apresentar as vantagens e desvantagens principais na utilização de cada uma (Quadro 1). Em termos analíticos, todos os métodos possuem vantagens e desvantagens. Comparativamente, a soma de compostos é aquela que exige maior dispêndio de tempo e recursos, uma vez que usa equipamentos mais sofisticados (cromatógrafos, espectrômetros, fotocolorímetros) e demanda maior preparo das amostras. Nesse aspecto, a facilidade de leitura do TDS via EC é evidenciada. Por outro lado, utilizando-se a EC, tem-se uma medida indireta do TDS e fortemente influenciada pelo fator de multiplicação (k) escolhido, o que pode gerar a perda

de confiança nos resultados, caso não haja estudos hidrogeoquímicos prévios da área para assegurar uma decisão coerente. Já a gravimetria é a única técnica de mensuração direta, e sua leitura independe de quaisquer fatores externos às análises laboratoriais, promovendo

maior segurança aos dados obtidos.

Para além das comparações em termos analíticos, os resultados obtidos para um mesmo conjunto de amostras nas três técnicas ampliam as possibilidades de discussão (Tabela 1).

Quadro 1: Principais vantagens e desvantagens analíticas de cada técnica

Técnica	Principais vantagens	Principais desvantagens
Gravimetria	Mensuração direta Usa apenas um procedimento laboratorial Baixo custo operacional	Dispêndio de tempo Volatilização de compostos
Soma de compostos	Especiação dos solutos Possibilita realização do balanço iônico	Custo elevado Exige vários procedimentos laboratoriais Dispêndio de tempo
Fator de multiplicação da EC	Baixo custo operacional Possibilidade de leitura em campo Agilidade na obtenção do resultado	Dificuldade para definir o fator k

Tabela 1: Resultado de Condutividade Elétrica e TDS obtido para águas de nascentes em distintos procedimentos analíticos

Amostra	Nascente	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)			
			Gravimétrico	Σ Compostos	TDS (K= 0,7)	K_{s4}
A01	LS02	126	87,00	111,74	88,2	106,07
A02	LS05	6,71	21,33	7,56	4,697	13,83
A03	LS06	6,38	15,33	9,78	4,466	13,15
A04	LS13	275	202,00	223,22	192,5	209,41
A05	LS14	265	191,33	218,94	185,5	201,79
A06	LS15	281	200,00	223,31	196,7	213,98
A07	PV03	250	190,33	182,41	175	190,37
A08	PV05	159	122,33	134,71	111,3	133,85
A09	PV07	75,50	68,00	74,10	52,85	63,56
A10	PV11	98,50	81,33	82,03	68,95	82,92
A11	PV14	109,60	90,33	88,97	76,72	141,66
A12	SC01	30,20	68,00	38,73	21,14	39,03
A13	SC05	6,28	16,67	12,14	4,396	14,28
A14	SC10	3,52	16,00	7,48	2,464	8,01
A15	SC12	5,18	17,33	2,76	3,626	10,29
A16	SC14	5,85	14,67	11,33	4,095	13,31
A17	SC18	5,90	19,33	12,39	4,13	16,34
A18	SC19	4,60	16,67	12,57	3,22	12,74
A19	SC23	8,81	14,00	20,31	6,167	17,15
A20	SC24	7,0	10,67	6,78	4,9	15,92
A21	SC27	5,7	4,67	7,60	3,99	11,32
A22	SC28	3,7	16,67	5,11	2,59	7,35
A23	SC29	5,9	18,67	10,12	4,13	16,34

Fonte: Dados primários.

Avaliando os dados caso a caso, é evidente a variação, por vezes expressiva, dos resultados de TDS para uma mesma amostra nas diferentes técnicas. Os casos em que os valores absolutos são mais baixos apresentam variações percentuais muito elevadas. A maior diferença absoluta ocorreu em A11, em que o TDS_K foi 76,72mg/L e o TDS_{KSA} foi 141,65mg/L, representando um delta de 64,9mg/L (46%); destacam-se também as amostras A12, A04 e A05, todas com diferenças superiores a 30mg/L. Por outro lado, A21 foi a que apresentou a menor variação absoluta (7,33mg/L), porém, com um percentual de 65%, uma vez que representa uma amostra de baixo grau de mineralização.

As variações percentuais são expressivas, sobretudo nas amostras com TDS baixo. Esses valores

ultrapassam 500%, como em A14, A15 e A22 e são recorrentemente superiores a 200%. A menor diferença relativa encontrada foi em A07 (9%).

Quando se toma as médias como parâmetro de comparação (Tabela 2), evidenciam-se as técnicas que apresentam resultados mais discrepantes. Isoladamente, há casos com resultados mais de 100% acima das médias para o TDS_{GRAV} e 60% acima para TDS_{KSA} e extremos de aproximadamente 70% abaixo das médias para TDS_{COMP} e TDS_K . Porém, no conjunto dos casos, o TDS_{COMP} é o que apresenta a menor variação média percentual (4%) enquanto o TDS_{GRAV} é o que apresenta a menor variação média absoluta (2,49mg/L). Por sua vez, o TDS_K resultou em um resultado coletivo muito distante da média (-9,72mg/L e -41%).

Tabela 2: Diferenças (absoluta e percentual) entre os resultados por distintos procedimentos analíticos

Amostra	Nascente	Gravimétrico		Σ Compostos		TDS (K= 0,7)		TDS K_{SA}	
		absoluta	percentual	absoluta	percentual	absoluta	percentual	absoluta	percentual
A01	LS02	-11,25	-11%	13,49	14%	-10,05	-10%	7,82	8%
A02	LS05	9,48	80%	-4,29	-36%	-7,16	-60%	1,97	17%
A03	LS06	4,65	44%	-0,90	-8%	-6,22	-58%	2,46	23%
A04	LS13	-4,78	-2%	16,44	8%	-14,28	-7%	2,63	1%
A05	LS14	-8,06	-4%	19,55	10%	-13,89	-7%	2,40	1%
A06	LS15	-8,50	-4%	14,82	7%	-11,80	-6%	5,48	3%
A07	PV03	5,80	3%	-2,12	-1%	-9,53	-5%	5,84	3%
A08	PV05	-3,22	-3%	9,16	7%	-14,25	-11%	8,30	7%
A09	PV07	3,37	5%	9,47	15%	-11,78	-18%	-1,07	-2%
A10	PV11	2,52	3%	3,22	4%	-9,86	-13%	4,11	5%
A11	PV14	-9,09	-9%	-10,45	-11%	-22,70	-23%	42,24	42%
A12	SC01	26,28	63%	-3,00	-7%	-20,58	-49%	-2,69	-6%
A13	SC05	4,80	40%	0,27	2%	-7,48	-63%	2,41	20%
A14	SC10	7,51	88%	-1,01	-12%	-6,02	-71%	-0,48	-6%
A15	SC12	8,83	104%	-5,74	-68%	-4,87	-57%	1,79	21%
A16	SC14	3,82	35%	0,48	4%	-6,76	-62%	2,46	23%
A17	SC18	6,28	48%	-0,66	-5%	-8,92	-68%	3,29	25%
A18	SC19	5,37	48%	1,27	11%	-8,08	-72%	1,44	13%
A19	SC23	-0,41	-3%	5,90	41%	-8,24	-57%	2,75	19%
A20	SC24	1,10	12%	-2,79	-29%	-4,67	-49%	6,35	66%
A21	SC27	-2,23	-32%	0,71	10%	-2,91	-42%	4,43	64%
A22	SC28	8,74	110%	-2,82	-36%	-5,34	-67%	-0,58	-7%
A23	SC29	6,36	52%	-2,19	-18%	-8,18	-66%	4,02	33%
Média		2,49	29%	2,56	-4%	-9,72	-41%	4,67	16%
Máximo		26,28	110%	19,55	41%	-2,91	-5%	42,24	66%
Mínimo		-11,25	-32%	-10,45	-68%	-22,70	-72%	-2,69	-7%
DesvPad		7,95	0,39	7,58	0,22	4,77	0,25	8,44	0,20

Fonte: Análises estatísticas.

Entretanto, conforme os resultados apontados pela estatística descritiva³ (Tabela 3), as variações individuais são diluídas. De um modo geral, os desvios padrão são baixos e seu percentual em relação às médias raramente ultrapassa 50%. A distorção dos resultados, por outro lado, mostra-se elevada para algumas amostras,

especialmente A11, A16, A18 e A22. Novamente, as amostras com menor grau de mineralização destacam-se com as maiores variabilidades, resultado estatístico de seus baixos valores absolutos de TDS, com exceção de A11, que mesmo com TDS elevado, apresentou elevada distorção dos dados.

Tabela 3: Estatística descritiva dos resultados de TDS (mg/L) obtidos em distintos procedimentos analíticos

Amostra	Nascente	Média	Mediana	DesvPad	DP/Méd	Dist
A01	LS02	98,25	97,13	10,85	0,11	0,10
A02	LS05	11,85	10,69	6,39	0,54	0,40
A03	LS06	10,68	11,46	4,10	0,38	-0,46
A04	LS13	206,78	205,70	11,22	0,05	0,25
A05	LS14	199,39	196,56	12,71	0,06	0,52
A06	LS15	208,50	206,99	10,73	0,05	0,23
A07	PV03	184,53	186,37	6,38	0,03	-0,46
A08	PV05	125,55	128,09	9,57	0,08	-0,45
A09	PV07	64,63	65,78	7,76	0,12	-0,40
A10	PV11	78,81	81,68	5,72	0,07	-1,12
A11	PV14	99,42	89,65	24,95	0,25	0,99
A12	SC01	41,72	38,88	16,81	0,40	0,49
A13	SC05	11,87	13,21	4,60	0,39	-0,75
A14	SC10	8,49	7,74	4,85	0,57	0,45
A15	SC12	8,50	6,96	5,87	0,69	0,48
A16	SC14	10,85	12,32	4,08	0,38	-0,88
A17	SC18	13,05	14,36	5,71	0,44	-0,57
A18	SC19	11,30	12,66	4,94	0,44	-0,76
A19	SC23	14,41	15,58	5,25	0,36	-0,57
A20	SC24	9,57	8,73	4,22	0,44	0,45
A21	SC27	6,90	6,14	2,89	0,42	0,53
A22	SC28	7,93	6,23	5,32	0,67	0,82
A23	SC29	12,31	13,23	5,66	0,46	-0,33

Obs.: Média – média aritmética dos TDS da amostra; Mediana – número central do conjunto de resultados; DesvPad – desvio padrão do conjunto de dados; DP/Méd – razão entre o desvio padrão e a média; Dist: distorção (grau de assimetria) da distribuição em torno da média. Fonte: Análises estatísticas.

A correlação linear entre todos os métodos analisados é alta (Tabela 4). Gurgel (1982), ao analisar a correlação entre EC e TDS_{GRAV}, encontrou os coeficientes de determinação (R²) 0,948 para amostras de água subterrânea com embasamento em arenito e 0,970 em calcário. O par TDS_{COMP}/

TDS_K obteve a maior correção linear, enquanto o par TDS_{GRAV}/TDS_{KSA} apresenta a menor correlação linear. Ainda assim, todos os valores encontrados são considerados muito elevados, o que indica que no conjunto de dados, as diferentes técnicas se sobrepõem.

³ Para interpretação da estatística descritiva, ressalta-se o fato de que a população é de apenas quatro casos.

Tabela 4: Correlação linear entre os diferentes procedimentos analíticos empregados

	TDS _{GRAV}	TDS _{COMP}	TDS _K	TDS _{KSA}
TDS _{GRAV}	1,0000	0,9803	0,9841	0,9680
TDS _{COMP}	0,9803	1,0000	0,9939	0,9732
TDS _K	0,9841	0,9939	1,0000	0,9780
TDS _{KSA}	0,9680	0,9732	0,9780	1,0000

Fonte: Análises estatísticas.

Embora o par TDS_{COMP}/TDS_K apresente o maior valor da matriz de correlação linear, o desvio padrão entre esses dois métodos (86,78) também é o maior quando comparado a TDS_{COMP}/TDS_{GRAV} (37,26) e TDS_{COMP}/TDS_K (24,14). Por sua vez, o TDS_{GRAV} também apresenta a maior correlação linear com o TDS_K , mas na análise individual dos dados, o menor desvio padrão é obtido quando comparado ao TDS_{KSA} . O TDS_K apresenta a maior correlação linear com a TDS_{COMP} , já na análise individual dos dados, apresenta o menor desvio padrão comparado ao TDS_{KSA} . Por fim, o TDS_{KSA} é o que mais se aproxima dos valores mensurados pelo TDS_{GRAV} , com um desvio padrão de (44,11), seguido pelo TDS_{COMP} (121,99) e TDS_K (187,51).

Os resultados da regressão linear (Figura 2 e Tabela 5) mostram o expressivo ajuste entre os conjuntos de casos. Além dos coeficientes de linearidade serem muito altos, os coeficientes angulares das retas têm uma forte tendência para 1,0. Em outras palavras, para validação dos resultados obtidos, quaisquer técnicas estariam confirmadas no espaço amostral da pesquisa. Nuances, porém, podem ser reconhecidas e clarificadas.

A dispersão dos pares ordenados, em todas as regressões, apresenta ao menos um dado que foge à linha de tendência. Esses casos são A07, A11 e A12, que se alternam entre as regressões. Excetuando-se essas três nascentes, as correlações lineares estariam ainda mais próximas da perfeição. Não obstante, os valores encontrados já são significativamente altos (todos superiores a 0,96). Soma-se o fato de os coeficientes de linearidade não variarem mais do que 0,13.

Assim, a regressão mostra que o melhor ajuste é entre TDS_{COMP}/TDS_K , com o menor erro padrão encontrado (6,27), porém com alfa da reta igual a 1,10. A linha de tendência com ângulo mais próximo de 45° é TDS_{COMP}/TDS_{KSA} (1,02), mas o coeficiente de correlação linear foi 0,97, o segundo menor. Por fim, a partir da regressão, o par de técnicas que parece ter a resposta mais bem orientada é TDS_{GRAV}/TDS_K , uma vez que apresentou um dos melhores

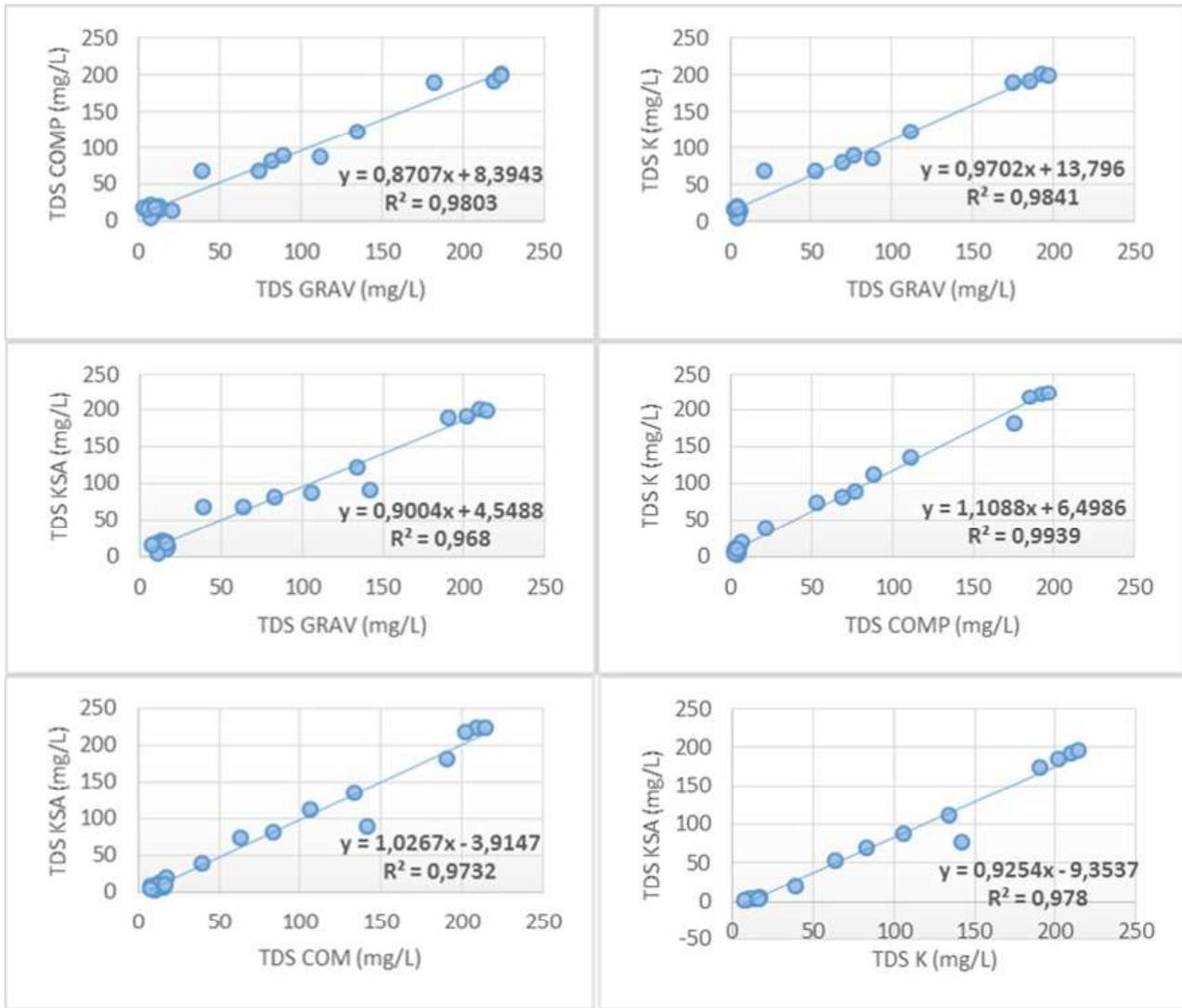
alfas (0,97), R^2 (0,98) e erro padrão (8,92).

Apesar da inconclusividade de algumas análises, parece evidente que dentro do conjunto amostral, todas as técnicas medem o mesmo objeto; ou seja, os valores obtidos em uma técnica confirmam as outras. Isso, porém, não ocorre em uma mesma escala, promovendo deslocamentos (momento lineares) dos valores absolutos entre cada uma das técnicas. Entretanto, observando os resultados por amostra, a distorção salta aos olhos, sobretudo para algumas nascentes especificamente, justamente aquelas que fogem ao ajuste da regressão. Se em uma perspectiva geral, as respostas de todas as técnicas são congruentes, observando caso a caso isso passa a não ser verdade.

Do ponto de vista geomorfológico, essas análises levantam a preocupação acerca da comparabilidade de dados obtidos por diferentes técnicas. Parece imprudente fazê-lo. Ademais, quando o TDS é utilizado para cálculo da desnudação geoquímica (relacionado matematicamente com a densidade da rocha, área da bacia de contribuição e vazão dos cursos d'água), as diferenças absolutas entre as técnicas são ressaltadas. Por outro lado, estudos comparativos, quali-quantitativos, que detêm o controle das técnicas empregadas para interpretação de um universo amostral, podem ser realizados sem maiores imbrólios.

Sabe-se que a definição de uma técnica padrão para os estudos geomorfológicos seria algo extremamente problemático e, quiçá, utópico. Preferências analíticas, manutenção de rotinas costumeiras e disponibilidade de equipamentos seriam apenas alguns dos diversos empecilhos a uma uniformidade metodológica. Consciente dessa conjuntura, acredita-se, porém, que as discussões apresentadas nesse estudo devam ser compreendidas enquanto um ponto nevrálgico das pesquisas geomorfológicas que se utilizam do TDS enquanto parâmetro analítico, fomentando a seleção crítica das técnicas a serem utilizadas no futuro.

Figura 2 - Resultados gráficos das regressões lineares por pares de respostas dos procedimentos analíticos utilizados



Fonte: Análises estatísticas.

Tabela 5: Síntese das estatísticas de regressão (para intervalo de confiança de 95%).

Estatística de regressão	$TDS_{GRAV} \times TDS_{COMP}$	$TDS_{GRAV} \times TDS_K$	$TDS_{GRAV} \times TDS_{KSA}$	$TDS_{COMP} \times TDS_K$	$TDS_{COMP} \times TDS_{KSA}$	$TDS_K \times TDS_{KSA}$
R múltiplo	0,9838	0,9920	0,9838	0,9970	0,9865	0,9889
R-Quadrado	0,9680	0,9841	0,9680	0,9939	0,9732	0,9780
R-quadrado ajustado	0,9664	0,9834	0,9664	0,9936	0,9720	0,9770
Erro padrão	12,6798	8,9255	12,6798	6,2788	13,1768	10,7425
Observações	23	23	23	23	23	23
Coef. Angular	0,8707	0,9702	0,9004	1,1088	1,0267	0,9254
F de significação	2,122E-19	2,223E-20	3,567E-17	9,223E-25	5,366E-18	6,845E-19

Fonte: Análises estatísticas.

Considerações Finais

É inegável a necessidade que a ciência geomorfológica tem, na atualidade, de se reinventar para clarificar respostas cada vez mais complexas. Nesse sentido, a replicação acrítica de técnicas, por mais reconhecidas que sejam, parece ser um caminho tortuoso. Cumprindo a função de ampliar as possibilidades de discussão da evolução do relevo a partir da observação da parcela geoquímica da desnudação, este trabalho apresentou uma reflexão acerca da comparação dos resultados de TDS nas águas a partir de três técnicas distintas, todas respaldadas na literatura especializada.

Todas as técnicas empregadas apresentam vantagens e desvantagens associadas, seja em relação aos custos financeiros ou aos procedimentos em si. Porém, essas observações não devem ser descoladas da viabilidade de obtenção de respostas fidedignas, coerentes e, sobretudo, confiáveis. Ademais, vislumbrando interpretações cruzadas, não se pode perder de vista a comparabilidade dos dados.

Foi evidenciado que quando as amostras são isoladamente observadas, as diferentes técnicas geram resultados de TDS consideravelmente distintos. As discrepâncias foram grandes tanto do ponto de vista absoluto, quanto relativo, com especial atenção às águas de menor grau de mineralização. Por isso, não se recomenda a comparação de resultados individualizados (amostra por amostra) quando calculados/mensurados por diferentes técnicas.

Ressalta-se que a gravimetria foi o procedimento que apresentou melhor ajuste (menor variação absoluta) dos resultados em relação à média das técnicas empregadas. Porém, é importante que se atente e evidencie a temperatura de secagem das amostras e o tamanho do filtro utilizado, haja vista as possibilidades de alteração dos resultados.

Os valores obtidos via fator de multiplicação (KSA) foram os que mais se aproximaram individualmente dos resultados gravimétricos. Todavia, no conjunto amostral, o melhor ajuste da regressão se deu entre o par TDS_{GRA}/TDS_K . Nesse sentido, se os custos financeiros forem um fator impeditivo, é plausível o uso do fator de multiplicação (seja um k padrão ou ponderado por sistema aquífero) na definição do TDS.

Ressalta-se também que, em uma observação mais conjunta, focada não nas respostas isoladas de cada amostra, mas no conjunto de pontos de um

determinado recorte espacial, os procedimentos estatísticos comprovaram a correspondência das três técnicas. Ou seja, para trabalhos com uma nuvem de pontos maior, focados nas interpretações espaciais e/ou de unidades geológico-geomorfológicas, quaisquer das técnicas avaliadas serão satisfatórias.

Por fim, destaca-se a importância de futuros trabalhos que se debrucem sobre os meandros metodológicos da pesquisa geomorfológica. Para além da replicação de técnicas, urge a busca por novos e criativos percursos investigativos que poderão contribuir para a constante evolução da geomorfologia.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo fornecimento de bolsa de pós-graduação, ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto e à Universidade Federal de Minas Gerais e à Universidade Federal de Juiz de Fora pelo apoio institucional e de infraestrutura.

Referências Bibliográficas

- ALKMIM, F. F. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. D. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 17-34., 2004.
- ALMEIDA-ABREU, P. A. O Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais): o rifte, a bacia e o orógeno. **Revista Geonomos**, v. 3, n. 1, 1995.
- ALMEIDA-ABREU, P. A.; RENGER, F. E. Serra do Espinhaço Meridional: um orógeno de colisão do Mesoproterozóico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 1, p. 1-14, 2002.
- APHA, Awwa. **WPCF, Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington DC, USA: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 1995.
- BARRETO, H. N.; VARAJÃO, C. A. C.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. F. D. C.; JÚNIOR, H. A. N. Estudo das taxas de denudação química da Serra do Espinhaço Meridional (MG), com base na carga catiônica dissolvida. **Geociências** (São Paulo), v. 31, n. 4, p. 534-552, 2012.
- BATISTA, E.; FILIPE, E. A Influência da Variação da Condutividade e Densidade da Água na Calibração Gravimétrica.

- In: Conferência Nacional Metrologia e Inovação, 2, 2007, Funchal (Portugal). **Anais...** Funchal: Sociedade Portuguesa de Metrologia, 2007.
- BERBERT-BORN, M. Carste de Lagoa Santa, MG - Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In: SCHOBENBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E.; BERBERT-BORN, M. (org) **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM, CPRM, SIGEP, 2002.
- BERTOSSI, A. P. A.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A. GARCIA, G. O.; NEVES, M. A. Seleção e Agrupamento de Indicadores da Qualidade de Águas Utilizando Estatística Multivariada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013.
- BLIGHT, K. R.; CANDY, R. M.; MENZEL, D. E.; RALPH, D. E. Total dissolved solids and their effects on iron oxidation by chemolithotrophic cells. **Hidrometallurgy**, 125-126, p. 109-114, 2012.
- CARMO, M. S.; BOAVENTURA, G. R.; OLIVEIRA, E. C. Geoquímica das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília/DF – Brasil. **Quím. Nova**, v. 28, n. 4, p. 565-574, 2005.
- CHAUDHURI, S.; ALE, S. Characterization of groundwater resources in the Trinity and Woodbine aquifers in Texas. **Science of the Total Environment**, 452-453, p. 333-348, 2013.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. São Paulo: E. Blucher, 1974.
- COUTO JUNIOR, A. A.; CONCEIÇÃO, F. T.; FERNANDES, A. M.; CUNHA, C.; JUNIOR, E. P. S. Geoquímica fluvial aplicada à avaliação das taxas de intemperismo químico e remoção de solo da formação Rio Claro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, 2016.
- CRUZ, W. B.; PEIXOTO, C. A. M. A Evolução Química das Águas Subterrâneas de Poços de Caldas – MG. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 1, p. 23-33, 1991.
- FEITOSA, A. C.; MANOEL-FILHO, J. **Hidrologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2000.
- FELIPPE, M. F. **Gênese e Dinâmica de Nascentes: contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical**. 2013. 254 f. Tese (Dourado em Geografia) Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR, A. P.; DEBIEN, B. R.; AULER, L. M. L. A. Sistemas Aquíferos De Origem De Nascentes Em Lagoa Santa E Serra Do Cipó (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 2, 2015.
- FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR., A. P. A contribuição das nascentes na denudação geoquímica: borda oeste da serra do espinhaço meridional. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 79-92, 2016.
- FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR, A. P. A contribuição das nascentes na desnudação geoquímica: borda oeste da serra do espinhaço meridional (Minas Gerais, Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 1, 2016.
- GURGEL, E. A. Determinação dos Sólidos e Cátions Totais Dissolvidos a Partir da Condutividade Elétrica em Água Subterrânea. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2. 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1982.
- HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. 3. ed. Alexandria: U.S. Geological Survey, 1985.
- HUMBERT, E.; WOLKERSDORFER, C. Establishing a Conversion Factor Between Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids in South African Mine Waters. **Water SA**. v. 41, n. 4, p. 490-500, 2015.
- MAGALHÃES JR, A. P.; FERREIRA, L. L. B.; FELIPPE, M. F.; COSTA, F. C.; HORN, A. H. Relações entre perdas geoquímicas e configuração geomorfológica de bacias fluviais de baixa ordem na borda oeste do Espinhaço Meridional (Minas Gerais). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, 2018.
- KENT, R.; LANDON, M. K. Trends in concentrations of nitrate and total dissolved solids in public supply wells of the Bunker Hill, Lytle, Rialto, and Colton groundwater subbasins, San Bernardino County, California: influence of legacy land use. **Science of the Total Environment**, 452-453, p. 125-136, 2013.
- LEÃO, M. R.; REZENDE, É. A.; SALGADO, A. A. R.; JÚNIOR, H. A. N. Erosão, denudação e evolução do relevo da média Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, 2012.
- LEPSCH, Igo F. **19 lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- MAGALHÃES JR, A. P.; BARROS, L. F. P.; FELIPPE, M. F. Southern Serra do Espinhaço: The Impressive Plateau of Quartzite Ridges. In: VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C. (Ed.). **Landscapes and landforms of Brazil**. Springer, p. 359-370, 2015.
- MARANDI, A.; POLIKARPUS, M.; JÖELEHT, A. A New Approach for Describing the Relationship Between Electrical Conductivity and Major Anion Concentration in Natural Waters.

Applied Geochemistry, 2013.

MOURA, L. H. A. **Estudo Geoquímico da Bacia do Gama e Avaliação da Qualidade de Água**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2008.

PREPAS, E. E. Total dissolved solids as a predictor of lake biomass and productivity. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 40, n. 1, p. 92-95, 1983.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2006.

REZENDE, E; LEÃO, M.; SALGADO, A. A.; OLIVEIRA, C. K.; NALINI JÚNIOR, H. A influência litológica nas taxas de denudação geoquímica do médio Espinhaço Meridional-MG. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 3, 2010.

SALGADO, A. A. R.; VALADÃO, R. C. Contribuição da Desnudação Geoquímica na Evolução da Erosão Diferencial no Espinhaço Meridional – MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. a. 4, n. 2, p.31-40, 2003.

SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, C. A. C.; COLIN, F.; BRAUCHER, R.; NALINI JUNIOR, H. A; VARAJÃO, A. F. D. O papel da evolução geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, p. 55-29, 2004.

SAMPAIO, S. C.; SILVESTRO, M. G.; FRIGO, E. P.; BORGES, C. M. Relação Entre Série de Sólidos e Condutividade Elétrica em Diferentes Águas Residuárias. **Irriga**. v. 12, n. 4, p. 557-562, 2007.

SARDINHA, D. S.; BONOTTO, D. N.; GODOY, L. H.; CONCEIÇÃO, F. T.; MORENO, M. M. T. Denudação química e implicações na composição das águas superficiais do rio Jaú (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 3, p. 337-349, 2012.

SILVA, C. M. S. V.; SANTIAGO, M. M. F.; FRISCHKORN, H.; GRANJEIRO, M. L.; MANOEL FILHO, J.; MIRANDA, T. S.; MENDES FILHO, J. Caracterização Físico-Química das Águas Subterrâneas na Bacia Potiguar. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços **Anais...** 2010.

SILVA, R. B. G. **Estudo Hidroquímico e Isotópico das Águas Subterrâneas do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo**. 1983. 133 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

SPATTI JUNIOR, E. P.; CONCEIÇÃO, F. T.; JUNIOR, E. G.; PINTO, S. D. A. F.; PEREIRA, L. H. Balanço entre intemperismo químico e remoção do solo na bacia do ribeirão Monjolo Grande, Ipeúna (SP), determinadas por geoquímica fluvial. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, 2014.

STEVANUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms**. New York: Longman Scientific & Technical, 1991.

SZIKSZAY, M.; TEISSEDE, J. M. “Águas Minerais” no Estado de São Paulo: características físico-químicas e classificação. **Boletim IG**, Instituto de Geociências, USP, v. 12, p. 11-22, 1981.

THOMAS, Michael. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. John Wiley & Sons, 1994.

UHLEIN, A.; TROMPETTE, R.; EGYDIO-SILVA, M. Riftingamentos superpostos e tectônica de inversão na borda sudeste do Cráton do São Francisco. **Revista Geonomos**, v. 3, n. 1, 1995.

VITTE, A. C. A construção da geomorfologia no Brasil. **Revista brasileira de geomorfologia**, v. 12, 2012.

WALTON, N. R. G. Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids – What is Their Precise Relationship? **Elsevier Science Publisher B. V.** Amsterdam, 275-292, 1989.

WEBER-SCANNELL, P. K.; DUFFY, L. K. Effects of total dissolved solids on aquatic organism: a review of literature and recommendation for salmonid species. **American Journal of Environmental Sciences**. 2007.

WILDERMUTH, M. J. Final summary report, TDS and Nitrogen studies, Santa Ana watershed. **Water resources Engineers**, Laguna Niguel, California. 1991.