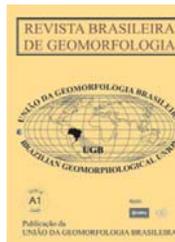




www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 15, nº 1 (2014)



BALANÇO ENTRE INTEMPERISMO QUÍMICO E REMOÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RIBEIRÃO MONJOLO GRANDE, IPEÚNA (SP), DETERMINADO POR GEOQUÍMICA FLUVIAL

BALANCE BETWEEN CHEMICAL WEATHERING AND SOIL REMOVAL IN THE MONJOLO GRANDE STREAM BASIN, IPEÚNA (SP), DETERMINED BY RIVER GEOCHEMISTRY

Eder Paulo Spatti Junior

*Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, Rio Claro-SP. CEP 13506 900. Brasil.
E-mail: ederspatti@hotmail.com*

Fabiano Tomazini da Conceição

*Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, Universidade Estadual Paulista
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, Rio Claro-SP. CEP 13506 900. Brasil.
E-mail: ftomazini@rc.unesp.br*

Edvaldo Guedes Junior

*Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, Rio Claro-SP. CEP 13506 900. Brasil.
E-mail: jr.guedes@hotmail.com*

Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

*Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, Universidade Estadual Paulista
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, Rio Claro-SP. CEP 13506 900. Brasil.
E-mail: ftomazini@rc.unesp.br*

Luiz Henrique Pereira

*Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, Rio Claro-SP. CEP 13506 900. Brasil.
E-mail: e_luizh@yahoo.com.br*

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
17/12/2013
Data de Aprovação:
22/01/2014

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar as taxas de intemperismo químico e remoção do solo na bacia do Ribeirão Monjolo Grande, Ipeúna (SP), determinadas por geoquímica fluvial. Os resultados indicaram uma saída de material dissolvido de 6,33 t/km²/ano ou 182,5 t/ano devido aos processos de intemperismo químico das rochas nesta bacia hidrográfica. Em relação ao transporte de sedimentos, obteve-se um fluxo de 31 t/km²/ano ou 887 t/ano. As taxas de intemperismo

Palavras-chave:

Intemperismo químico, remoção do solo, evolução geomorfológica, geoquímica fluvial, planejamento ambiental.

Keywords:

Chemical weathering, soil removal, geomorphological evolution, river geochemistry, environmental planning.

químico e remoção do solo foram de 7 e 26 m/Ma, respectivamente, indicando uma diminuição da espessura do solo na bacia do Ribeirão Monjolo Grande nas condições climáticas atuais. Simulações de diferentes cenários indicaram um valor de 2,65 m/Ma para que as taxas de intemperismo químico e a remoção do solo sejam iguais. Além disso, somente em condição climática seca as taxas de intemperismo químico serão maiores que a remoção do solo.

Abstract

This study aimed to evaluate the balance between chemical weathering and soil removal in the Monjolo Grande Stream basin, Ipeúna (SP), determined by river geochemistry. The results indicated a material dissolved transported of 6.33 t/km²/yr or 182.5 t/yr, due to chemical weathering processes of rocks in this watershed. In relation to sediment yield, it was obtained a flux of 31 t/km²/yr or 887 t/yr. The rates of chemical weathering and soil removal were 7 and 26 m/Ma, respectively, indicating a decrease in soil thickness in the Monjolo Grande basin under current climatic conditions. Simulation of different scenarios indicated a value of 2.65 m/Ma to rates of chemical weathering and soil removal will be equal. Furthermore, only in dry weather conditions the rates of chemical weathering will be greater than the soil removal.

1 - INTRODUÇÃO

O intemperismo químico age no sentido de formar uma cobertura alterada, separando a rocha fresca da atmosfera (TARDY, 1971; MORTATTI, 1995). A erosão remove as partículas da parte superficial do solo, as quais são transportadas pelo escoamento superficial da água para os rios e dos rios para os oceanos (PRESS *et al.*, 2006).

A determinação do balanço das taxas de intemperismo químico e remoção dos solos é de grande interesse na caracterização geomorfológica dos continentes, podendo indicar a viabilidade da ocupação humana e suas atividades, subsidiando ações de intervenções em problemas relacionados com a construção de barragens, rodovias, fundações, entre outros.

Tal interesse cresceu muito nos últimos anos através do uso do modelo PROFILE (SVERDRUP e WARFVINGE, 1993; LANGAN *et al.*, 1996; HODSON *et al.*, 1996; KOPSTIK *et al.*, 1999) e modelos que utilizam a concentração de sódio, cálcio, potássio, magnésio e de sólidos totais dissolvidos, em que as entradas devido às águas pluviais requerem correções para se obter a fração dissolvida provenientes das rochas (GIBBS, 1967; JOHNSON *et al.*, 1968; TARDY, 1971; PACES, 1986; NKOUNKOU e PROBST, 1987; CLOW e DREVER, 1996; BOEGLIN e PROBST, 1998; LAND *et al.*, 1999; GRASBY e HUTCHEON, 2000; SEMHI *et al.*, 2000; BAIN *et al.*, 2001; PACHE-

CO e WEIJDEN, 2002; WEIJDEN e PACHECO, 2006; VELBEL e PRICE, 2007; XU e LIU, 2010). Entretanto poucos estudos são relacionados a este assunto no Brasil (MOREIRA-NORDEMANN, 1980 e 1984; STALLARD e EDMOND, 1983; MORTATTI e PROBST, 2003; MORTATTI *et al.*, 2003; SALGADO e VALADÃO, 2003; CONEILÃO e BONOTTO, 2003, 2004; BONOTTO *et al.*, 2007; MORTATTI *et al.*, 2008; SARDINHA *et al.*, 2010, LEÃO *et al.* 2012).

Rochas sedimentares e ígneas da Bacia Sedimentar do Paraná recobrem 70% do estado de São Paulo. Entre as formações sedimentares aflorantes neste estado, as formações Pirambóia e Botucatu destacam-se por serem compostas por rochas areníticas com o principal uso destas terras associado ao cultivo de cana-de-açúcar. Contudo, ainda não há estudos associados ao balanço entre as taxas de intemperismo químico e remoção de solos em regiões com rochas das formações Pirambóia e Botucatu e intensas atividades agrícolas. A bacia do Ribeirão Monjolo Grande é formada por estas rochas e possui extensas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, propiciando uma unidade de estudo onde algumas importantes questões científicas podem ser respondidas, tais como:

- Qual é o balanço entre as taxas de intemperismo químico e remoção de solo na bacia do Ribeirão Monjolo Grande?

- Qual é a influência sazonal nas taxas de

intemperismo químico e remoção do solo nesta bacia?

2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Ribeirão Monjolo Grande é tributário da margem direita do Rio Corumbataí (Figura 1A), o qual é pertencente à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 5 (UGRHI - 5), correspondente às bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. A bacia do Ribeirão Monjolo Grande localiza-se no município de Ipeúna, centro leste do estado de São Paulo, compreendendo uma área aproximada de 28,87 km², com localização entre as coordenadas geográficas de 22°18' e 22°23' de latitude S e 47°48' e 47°42' de longitude W (Figura 1B).

De acordo com levantamento realizado por IPT (1981a), a área de estudo insere-se na Depressão Periférica Paulista, a qual se caracteriza por uma topografia constituída por colinas, com altitudes variando entre 550 e 600 m. Entretanto, ocorrem na bacia do Ribeirão Monjolo Grande pequenos maciços residuais, ou morros testemunhos, denominados de Morro da Guarita e Morro do Bisigueli, com altitudes maiores que 900 m, como ilustrado na figura 2A. A declividade média na bacia do Ribeirão Monjolo Grande é de 0,04 m/m, sendo obtido um valor de 0,3 m/m para o seu alto curso devido a Cuestas Basálticas (Figura 2B).

A bacia do Ribeirão Monjolo Grande possui um caráter de ocupação predominantemente rural, não apresentando em toda a sua extensão quaisquer atividades urbano-industriais. Tal fato implica na ausência de despejos de efluentes domésticos e industriais nas águas superficiais desta bacia. Entretanto, as atividades agrícolas podem estar modificando a qualidade das águas superficiais da mesma.

Do ponto de vista geológico, a bacia do Ribeirão Monjolo Grande está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná e diversas de suas unidades estratigráficas afloram nela (IPT, 1981b), como segue:

- Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois = argilitos e siltitos arroxeados a amarelados (quando intemperizados), com fraturas concoidais, já empastilhados, maciços ou contendo leve laminação plano-paralela;

- Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral do Grupo São Bento. A Formação Pirambóia consiste em arenitos amarelo-avermelhados de granulação média a fina, silto-argilosos, mal selecionados, com estratificações cruzadas de grande porte. Arenitos com boa seleção, com grande estratificação cruzada planar tangencial representam a Formação Botucatu. A Formação Serra Geral apresenta corpos de basalto (bastante fraturados), muitas vezes apresentando esfoliação esferoidal.

- Presença da Formação Itaqueri, pertencente

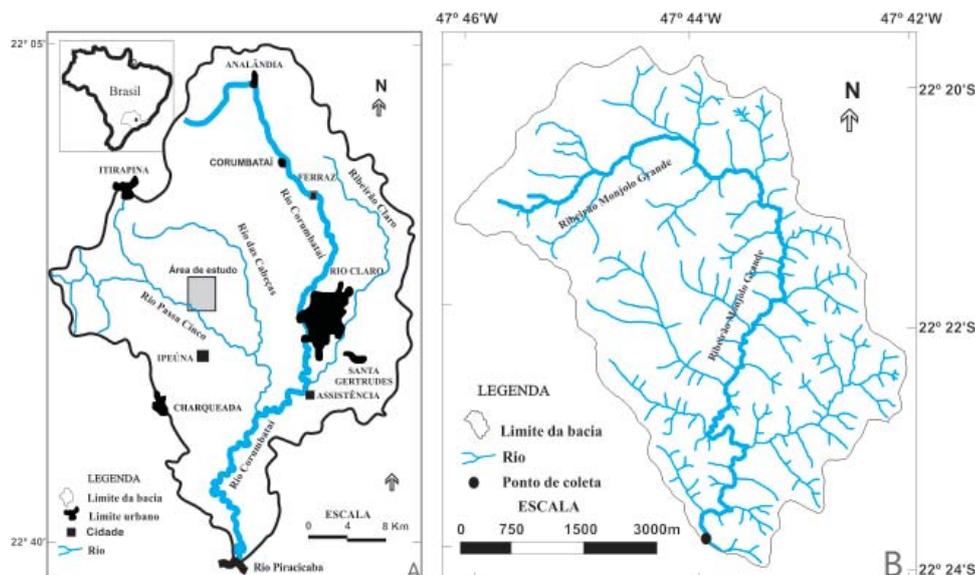


Figura 1 - Mapa de localização da bacia do Rio Corumbataí (A), com destaque para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande (B).

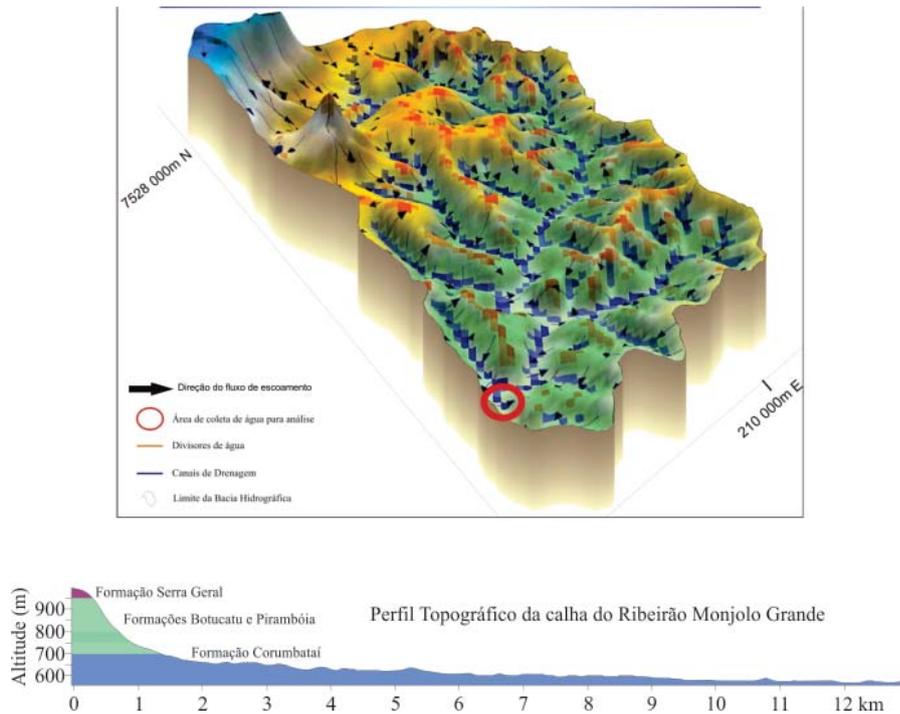


Figura 2 - Modelo digital de elevação do terreno da bacia do Ribeirão Monjolo Grande (A) e perfil topográfico de sua calha principal (B).

ao Grupo Bauru (RICOMINNI, 1997) na porção NW da bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

Prado e Oliveira (1981) indicaram a ocorrência principalmente de Latossolo Vermelho, Neossolos Quartzarênicos profundos associados a Latossolo Vermelho Amarelo, tendo como material de origem as Formações Botucatu e Pirambóia. Na transição com o relevo das Cuestas Basálticas há a presença de Neossolos Litólicos relacionados às Formações Serra Geral e Botucatu. Pereira (2010) em mapeamento mais detalhado da bacia do Ribeirão Monjolo Grande estabeleceu as seguintes classes de solo: Cambissolo, Neossolo Litólico, Latossolo Vermelho Amarelo, Argissolo Vermelho, Neossolo Flúvico e áreas de Deposição e Neossolo Quartzarênico.

Considerando a distribuição das chuvas e as variações de temperatura ao longo do ano, a área da bacia do Ribeirão Monjolo Grande pode ser enquadrada no tipo Cwa, conforme a classificação zonal de Köppen, com inverno seco e verão chuvoso. A pluviosidade anual média entre os anos de 1971 e 2012 foi de 1465 mm, com média mensal de 122 mm. Janeiro é o mês mais chuvoso, com precipitação média mensal de 266,7 mm, e agosto o mês mais seco, com precipitação média mensal de 31,5 mm, segundo dados registrados pelo DAEE,

Posto D4-074 (DAEE, 2013) (Figura 3).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A amostragem das águas superficiais foi realizada no exutório do Ribeirão Monjolo Grande nos meses de fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro de 2010. Esta amostragem permitiu avaliar a diferença sazonal nas características físicas e químicas das águas fluviais da bacia do Ribeirão Monjolo Grande (Figura 4).

As técnicas de coleta e de preservação das amostras são muito importantes e seguiram os dispositivos de amostragem descritos no “Guia

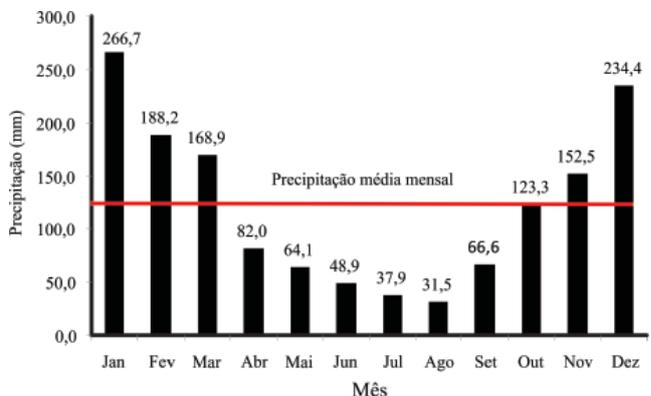


Figura 3 - Precipitação média mensal entre os anos de 1970 e 2012 na bacia do Ribeirão Monjolo Grande. Fonte: Posto DAEE D4-074 (DAEE, 2013).



Figura 4 - Ponto de amostragem localizados na foz do Ribeirão Monjolo Grande nos meses de fevereiro (A e C) e agosto (B e D) em 2010.

Técnico de Coleta e Preservação de Amostras de Água” (Agudo, 1988). Os parâmetros caracterizados neste trabalho foram temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg/L), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Todos os valores foram obtidos através de sonda multi-parâmetros de leitura direta no próprio local de amostragem (marca YSI, Modelo YSI 56). O eletrodo de pH é do tipo combinado e os padrões de alta pureza utilizados para calibração foram de pH 4,00 ($4,005 \pm 0,010$ a $25^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$) e 7,00 ($7,000 \pm 0,010$ a $25^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$). O condutivímetro foi calibrado utilizando-se uma solução padrão de KCl (1,0 mmol/L) de condutividade conhecida, ou seja, $147 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C .

A vazão no ponto de amostragem foi quantificada utilizando-se uma trena e um medidor de fluxo (molinete), de acordo com a Equação 1.

$$Q = A.V \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão (m^3/s);

A = área da seção transversal do rio (m^2);

V = velocidade de escoamento do curso d’água do rio (m/s);

As amostras de águas superficiais foram armazenadas em vasilhames de polietileno para posterior quantificação dos teores de Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} ,

Cl^- , F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HCO_3^- , sólidos totais dissolvidos e sólidos totais em suspensão. Sódio, cloreto e fluoreto foram analisados pela técnica potenciométrica com a utilização de eletrodos acoplados a um medidor de íons seletivo da Orion (modelo 710 A+). Os teores de cálcio e magnésio (técnica da calmagita colorimétrica, de $0,05$ a $4,00 \pm 0,01$ mg/L), potássio (técnica do tetrafenilborato, de $0,10$ a $7,00 \pm 0,04$ mg/L), sulfato (técnica turbidimétrica de sulfato de bário, de 2 a $70 \pm 0,9$ mg/L), fosfato (técnica do ácido ascórbico, de $0,02$ a $2,5 \pm 0,01$ mg/L) e nitrato (técnica de redução de cádmio, de $0,1$ a $10 \pm 0,3$ mg/L) foram quantificados por espectrofotômetro modelo DR 2800 da Hach Company (Hach, 1992). A alcalinidade foi obtida por titulação com ácido sulfúrico $0,02$ N, com concentração entre 1 e $500 \pm 0,2$ mg/L (Hach, 1992). Sólidos totais dissolvidos foram obtidos pela soma de cátions e ânions. Já os sólidos totais suspensos foram quantificados pela metodologia gravimétrica, conforme descrito na 20ª edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Standart Methods, 1999). Todos os procedimentos de quantificação destes ânions/cátions foram realizados no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA) do Departamento de Planejamento Territorial e Geopressamento (DEPLAN) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da UNESP de Rio Claro.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Parâmetros físicos e químicos

Os resultados obtidos para os parâmetros físicos e químicos para as águas superficiais do Ribeirão Monjolo Grande são expressos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. A média ponderada dos parâmetros químicos analisados durante todo o período de coleta foi calculada a partir da Equação 2.

$$C_E = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (2)$$

Onde:

C_E = média ponderada do parâmetro (mg/L);

C_i = concentração do parâmetro na i -ésima amostra (mg/L);

Q_i = vazão do rio durante a coleta da i -ésima amostra (m^3/s).

Os valores de vazão e temperatura em todos os pontos da amostragem mostraram-se mais elevados no verão do que no inverno, conforme esperado, com uma variação entre 0,1 e 1,7 m^3/s e 13,0 e 23,5°C, respectivamente. Os valores registrados de pH situam-se próximo à neutralidade, com valor mínimo de 6,4 em fevereiro e máximo de 7,2 em abril. Como se pode observar pelos resultados obtidos, houve variação dos valores de condutividade elétrica ao longo do ano, sendo os períodos de chuva e seca que apresentaram os menores e maiores valores para este parâmetro, respectivamente. Este fato pode ser explicado devido a uma maior diluição das águas superficiais do Ribeirão Monjolo Grande pelas águas de chuva nos meses de verão. Em relação aos valores de oxigênio dissolvido, houve o fenômeno inverso ao observado para a condutividade elétrica e similar a vazão e temperatura, com variação entre 6,4 e 8,0 mg/L em junho e outubro, respectivamente. A taxa de oxigênio dissolvido é menor durante o período mais seco devido à baixa velocidade de escoamento e temperatura do ambiente em relação ao período chuvoso.

Em relação aos sólidos totais dissolvidos e sólidos totais em suspensão, pode-se observar um comportamento inverso entre eles. A variação da concentração de sólidos totais dissolvidos foi entre 33,4 mg/L (janeiro) e 58,8 mg/L (outubro), enquanto que para os sólidos totais em suspensão foi entre 7,1 mg/L (junho) e 31,8 mg/L (fevereiro). Estes resultados indicam que nos meses chuvosos há maior aporte de sedimentos para as águas superficiais da bacia do Ribeirão Monjolo Grande, aumentando a concentração de sólidos totais em suspensão. Além disso, pode concluir que há uma diluição nas águas superficiais desta bacia no período chuvoso devido à contribuição das águas de chuva, com diminuição dos sólidos totais dissolvidos e, conseqüentemente, da condutividade elétrica.

Os valores obtidos para os principais cátions e ânions (Tabela 2) indicam a seguinte tendência $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Mg^{2+}$ para os cátions e $HCO_3^- > NO_3^-$

$> Cl^- > PO_4^{3-} > SO_4^{2-}$ e F^- para os ânions nas águas superficiais da bacia do Ribeirão Monjolo Grande. Os resultados obtidos indicam um comportamento muito similar do cálcio e magnésio, com as maiores concentrações encontradas no período chuvoso. Já o comportamento do potássio é levemente estável ao longo do ano, variando entre 2,2 e 2,9 mg/L. Já em relação ao sódio, as menores concentrações foram obtidas nos meses chuvosos. Os valores de alcalinidade tiveram relação inversamente proporcional às precipitações, variando entre 15 e 35 mg/L. As concentrações obtidas de cloreto foram similares nas duas primeiras coletas, ocorrendo decréscimo dos valores nas outras nas análises realizadas. Para o período considerado, as concentrações de fluoreto e sulfato apresentaram-se sempre abaixo do limite de detecção do procedimento utilizado para suas quantificações. Não se pode determinar um padrão relacionado às concentrações de fosfato e nitrato e os diferentes períodos do ano, com concentrações médias ponderadas de 0,14 e 2,53 mg/L respectivamente.

De acordo com o Decreto Estadual nº 10.755 de 22 de novembro de 1977 (São Paulo, 1977), o Ribeirão Monjolo Grande está enquadrado como Classe 2, a qual é definida pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) como águas doces que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aqüicultura e à atividade de pesca.

Os resultados obtidos para o monitoramento realizado no ano de 2010 indicaram que todos os valores de pH e oxigênio dissolvido quantificados no Ribeirão Monjolo Grande estão inseridos nos intervalos preconizados para rios de classe 2. De todos os parâmetros químicos analisados neste estudo, somente os valores de fosfato das amostras coletadas nos meses citados nos meses de abril, junho, agosto e outubro ficaram acima do permitido para a Classe 2 (0,1 mg/L), devido à provável solubilização e lixiviação de fertilizantes fosfatados aplicados nas plantações de cana-de-açúcar.

Tabela 1 - Valores de vazão e parâmetros físicos caracterizados nas águas do Ribeirão Monjolo Grande em sua foz.

Data da amostragem	Vazão (m ³ /s)	Temp ¹ (°C)	pH	Cond ² (µS/cm)	OD ³	TDS ⁴ (mg/L)	TSS ⁵
26/02/2010	1,7	23,5	6,4	32,5	7,6	33,4	31,8
30/04/2010	0,3	19,3	7,2	51,4	6,8	39,8	14,0
30/06/2010	0,2	13,0	6,5	54,2	6,4	45,0	7,1
30/08/2010	0,1	17,8	6,5	52,0	6,8	49,1	12,3
29/10/2010	0,1	18,3	6,6	66,1	8,0	58,8	8,6
28/12/2010	0,3	22,5	6,9	44,0	7,6	39,2	26,0
Média	0,4	19,0	6,7	50,0	7,0	44,2	16,6

¹Temperatura ²Condutividade elétrica ³Oxigênio dissolvido ⁴Sólidos totais dissolvidos ⁵Sólidos totais em suspensão

Tabela 2 - Parâmetros químicos quantificados nas águas do Ribeirão Monjolo Grande em sua foz.

Data de amostragem	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
	(mg/L)									
26/02/2010	3,47	1,86	3,84	2,20	15,00	2,09	< 0,10	0,07	< 2,00	4,84
30/04/2010	3,21	1,55	3,68	2,20	25,00	2,18	< 0,10	0,20	< 2,00	1,76
30/06/2010	1,53	1,47	4,79	2,40	30,00	0,63	< 0,10	0,24	< 2,00	3,96
30/08/2010	6,17	1,88	4,03	2,80	30,00	1,01	< 0,10	0,14	< 2,00	3,08
29/10/2010	6,66	2,17	8,09	2,90	35,00	1,60	< 0,10	0,15	< 2,00	2,20
28/12/2010	9,56	2,18	3,13	2,60	20,00	0,90	< 0,10	0,06	< 2,00	1,76
Média ponderada	5,10	1,85	4,59	2,51	25,83	1,40	< 0,10	0,14	< 2,00	2,93

Assim, o Ribeirão Monjolo Grande ainda possui boa qualidade de água em relação aos parâmetros analisados ao longo de todo o ano de 2010.

4.2 - Análises estatísticas e classificação das águas superficiais

Os resultados calculados de correlação entre todos os parâmetros quantificados neste trabalho são apresentados na Tabela 3.

A maior correlação direta encontrada entre os elementos químicos quantificados neste trabalho se deu entre o cálcio e magnésio ($r = 0,89$) que tiveram comportamentos semelhantes ao longo do ano, provavelmente devido à dissolução da cimentação carbonática dos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu. Houve correlações diretas entre vazão e temperatura ($r = 0,82$), vazão e sólidos totais em suspensão ($r = 0,79$), temperatura e sólidos totais suspensão ($r = 0,89$), condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos ($r = 0,97$), condutividade elétrica e alcalinidade ($r = 0,96$) e alcalinidade e sólidos totais dissolvidos ($r = 0,94$). As correlações positivas podem ser explicadas pela maior tem-

peratura e alta concentração de chuvas no verão, acarretando aumento da vazão e sólidos totais em suspensão devido ao maior escoamento superficial.

Contudo, correlações inversas foram obtidas para vazão e condutividade elétrica ($r = -0,83$), vazão e sólidos totais dissolvidos ($r = -0,84$), vazão e alcalinidade ($r = -0,80$), condutividade elétrica e sólidos totais em suspensão ($r = -0,90$), temperatura e sólidos totais dissolvidos ($r = -0,76$), temperatura e alcalinidade ($r = -0,76$) e alcalinidade e sólidos totais em suspensão ($r = -0,94$). A vazão possui relação inversa com os valores de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e alcalinidade devido ao efeito de diluição causado pela alta precipitação no verão. Além disso, conclui-se que a condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e alcalinidade possuem comportamentos semelhantes ao longo do ano, registrando-se os maiores valores nos meses de inverno.

A dureza é uma medida baseada no teor de cálcio e magnésio da água, podendo ser obtida pela Equação 3 (TODD, 1980). A Tabela 4 apresenta a classificação das águas em relação à sua dureza de acordo com Sawyer *et al* (2000). Todas as amostras

coletadas da bacia do Ribeirão Monjolo Grande podem ser classificadas como moles em relação a sua dureza, uma vez que o maior valor obtido foi de 32,9 mg/L para o mês de dezembro de 2010.

$$DT = 2,5.[Ca^{2+}] + 4,1.[Mg^{2+}] \quad (3)$$

Onde:

DT = dureza em relação ao $CaCO_3$ ou dureza total (mg/L);

$[Ca^{2+}]$ = concentração de cálcio (mg/L);

$[Mg^{2+}]$ = concentração de magnésio (mg/L).

A fim de classificar quimicamente as águas superficiais da bacia do Ribeirão Monjolo Grande utilizou-se o diagrama de Piper (1944) (Figura 5). Os cátions (expressos em mEq/L, como porcentagem total de cátions), são representados por um ponto em um triângulo e os ânions (expressos em mEq/L, como porcentagem total de ânions) são representados como um ponto em outro triângulo. De acordo com a leitura do diagrama, em relação aos cátions, tem-se a seguinte classificação para as águas superficiais da bacia do Ribeirão Monjolo Grande: fevereiro e junho como sódico-potássicas, abril, agosto e outubro como mistas e dezembro como cálcicas. Em relação à composição aniônica, todas as amostras de águas superficiais desta bacia possuem caráter bicarbonatado.

Outra classificação química para águas superficiais foi sugerida por Gibbs (1970), baseada nos valores de sólidos totais dissolvidos e na relação de $Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$, sendo estes parâmetros representados num diagrama tipo bumerangue (Figura 6). Segundo Gibbs (1970), são três os mecanismos principais que determinam a concentração de sólidos dissolvidos nas águas superficiais, sendo eles a precipitação atmosférica (regiões de climas tropicais com intensa precipitação), os processos de intemperismo (regiões com clima mais ameno e com índices de precipitação menores) e os processos de evaporação que permitem a cristalização dos minerais (ocorrem em regiões de clima mais árido). De acordo com o diagrama de Gibbs (Figura 6), as águas superficiais do Ribeirão Monjolo Grande, ao longo do ano de 2010, encontram-se no domínio do intemperismo, como esperado pelas condições

climáticas atuais.

4.3 - Taxas de intemperismo químico

Garrels & Mackenzie (1967) modelaram a abundância e proporção relativa de íons dissolvidos em águas superficiais usando um balanço de massa. Lerman (1988) sumariou ou a dinâmica química de um rio através da Equação 4. Usando a densidade r (g/cm³) das rochas e o fluxo anual de material dissolvido W_q pode-se determinar a taxa de intemperismo químico ou velocidade de alteração química das rochas H_q (cm/ano) em uma bacia hidrográfica, segundo a Equação 5.

$$W_q = \frac{[STD].Q_{anual}}{S} \quad (4)$$

$$H_q = \frac{10^{-4}.W_q}{\rho} \quad (5)$$

Onde:

W_q = fluxo anual de material removido pelo intemperismo químico (g/m²/ano ou t/km²/ano);

$[STD]$ = concentração média de sólidos totais dissolvidos (g/L);

Q_{anual} = vazão anual (L/ano);

S = área da bacia (m² ou km²).

Utilizando-se a Equação 4, os resultados apresentados na Tabela 1 e 28,87 km² para a área da bacia do Ribeirão Monjolo Grande é possível obter um fluxo anual de material removido pelo intemperismo químico de 6,3 t/km²/ano ou 182,5 t/ano. Considerando este resultado e a densidade das rochas sedimentares desta bacia sedimentar (2,6 g/cm³), pode-se, através da Equação 5, indicar uma taxa de intemperismo de 0,0007 cm/ano ou 7 m/Ma.

As reações do intemperismo químico são fortemente influenciadas pela natureza dos minerais primários, clima, biosfera e tempo (MARTINI & CHESWORTH, 1992). Em relação aos processos intempéricos, a bacia do Ribeirão Monjolo Grande está inserida em uma região onde o clima (pluviosidade de 1465 mm/ano e temperatura de 22° C) causa uma alteração química moderada, com predomínio do processo de monossilificação. Esse processo ocorre pela hidrólise parcial da rocha mãe, com parte do SiO₂ permanecendo no perfil de intemperismo e Na⁺, Ca²⁺, K⁺ e Mg²⁺ sendo

Tabela 3 - Matriz de correlação obtida pela função de Pearson ($P < 0,01$) para os resultados obtidos para os diversos parâmetros físicos e químicos quantificados nas águas superficiais do Ribeirão Monjolo Grande em sua foz.

	Vazão	pH	Cond ¹	Temp ²	OD ³	TDS ⁴	TSS ⁵	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻
Vazão	1,00	-0,34	-0,83	0,82	0,28	-0,84	0,79	-0,27	-0,02	0,63	-0,60	-0,80	0,53	-0,51	0,48
pH		1,00	0,11	0,17	0,07	0,16	-0,02	0,17	-0,10	-0,05	-0,25	-0,08	0,29	0,13	-0,80
Cond ¹			1,00	-0,65	-0,10	0,97	-0,90	0,06	0,06	-0,59	0,64	0,96	-0,24	0,60	-0,49
Temp ²				1,00	0,79	-0,76	0,89	0,48	0,55	0,48	-0,20	-0,76	0,53	-0,89	-0,07
OD ³					1,00	-0,28	0,50	0,57	0,35	0,34	0,31	-0,23	0,48	-0,76	-0,29
TDS ⁴						1,00	-0,94	-0,07	-0,12	-0,64	0,50	0,94	-0,28	0,73	-0,46
TSS ⁵							1,00	0,26	0,33	0,60	-0,42	-0,94	0,34	-0,85	0,26
Ca ²⁺								1,00	0,89	-0,30	0,64	-0,02	-0,23	-0,67	-0,58
Mg ²⁺									1,00	0,53	0,65	-0,02	-0,04	-0,75	-0,33
Na ⁺										1,00	-0,39	-0,54	0,54	-0,42	0,74
K ⁺											1,00	0,67	-0,46	-0,10	-0,36
HCO ₃ ⁻												1,00	-0,34	0,64	-0,31
Cl ⁻													1,00	0,15	0,00
PO ₄ ³⁻														1,00	-0,03
NO ₃ ⁻															1,00

¹Condutividade elétrica ²Temperatura ³Oxigênio dissolvido ⁴Sólidos totais dissolvidos ⁵Sólidos totais em suspensão

Tabela 4 - Classificação de dureza das águas (SAWYER *et al.*, 2000).

Dureza (mg/L de CaCO ₃)	Classificação das águas
0 - 75	Mole
75 - 150	Moderadamente dura
150 - 300	Dura
Maior que 300	Muito dura

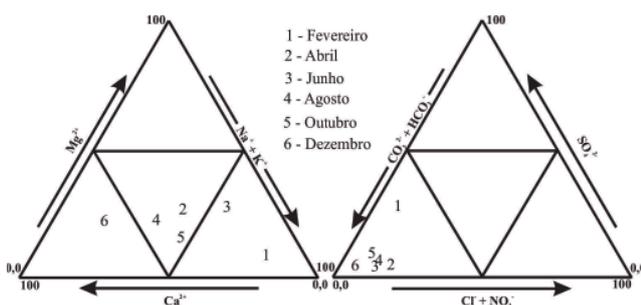


Figura 5 - Classificação das águas superficiais do Ribeirão Monjolo Grande, segundo o Diagrama de Piper (1944).

eliminados (TOLEDO *et al.*, 2000).

A base da Formação Corumbataí é composta por quartzo, hematita, illita, caolinita, calcita, microclínio e albita, enquanto o topo dessa formação

apresenta quartzo, illita, caolinita e hematita. Os arenitos da Formação Pirambóia são compostos por quartzo e caolinita. A Formação Pirambóia difere da Botucatu pela presença de illita nesta última. Quartzo, magnetita, augita e labradorita são os constituintes minerais dos diabásios da Formação Serra Geral e das rochas intrusivas básicas. Assim, o Na⁺ é esperado ser lixiviado pela hidrólise da albita e labradorita, Ca²⁺ pela hidrólise da labradorita e augita, Mg²⁺ pela hidrólise da augita e K⁺ pela hidrólise do microclínio e caolinita, como ilustrado na Figura 7. Magnetita e quartzo são os únicos minerais primários que não são intemperizados das rochas que compõem a bacia do Ribeirão Monjolo Grande. Além disso, esta bacia hidrográfica não apresenta minerais que possuem Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻ ou

NO₃⁻ (halita, silvita, gipsita, apatita, entre outros) nas suas fórmulas estruturais, sendo esperado pouca entrada destes íons para as drenagens devido a interação água-rocha.

4.4 - Transporte de sedimentos e balanço de denudação

O transporte de materiais sólidos foi obtido através da técnica simplificada de Colby(1957), sendo esta técnica descrita nas equações 6, 7 e 8. De acordo com Scapin (2005), esta técnica é vantajosa para a aplicação em pequenas bacias hidrográficas, permitindo avaliar a carga de arraste, sendo este dado fundamental para o trabalho em bacias hidrográficas com predominância de material arenoso. O cálculo do material transportado por arraste no canal foi realizado com o auxílio do Software Win TSR[®] desenvolvido por Paiva *et al* (2002).

$$Q_t = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (6)$$

Com:

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q_{anual} [STS] \quad (7)$$

$$Q_{nm} = q_{nm} \cdot K \cdot L \quad (8)$$

Onde:

Q_t = transporte de material sólido anual (t/ano);

Q_{sm} = transporte de material sólido anual em suspensão (t/ano);

Q_{nm} = transporte de material sólido anual por arraste (t/ano);

Q_{anual} = vazão anual (m³/ano);

[STS] = concentração média de sólidos totais em suspensão (mg/L);

q_{nm} = transporte de material por arraste não medido (t/m/ano);

L = largura média do rio (m);

K = fator de correção.

A quantidade total de material sólido removido pelo Ribeirão Monjolo Grande por unidade de área, W_m (t/km²/ano) pode ser determinada pelo uso da Equação 9. Já a taxa de remoção de solo H_m (cm/ano) é obtida pelo uso da densidade dos solos ρ (g/cm³) e a quantidade total de material sólidos removido (W_m), de acordo com a Equação 10.

$$W_m = \frac{Q_t}{S} \quad (9)$$

$$H_m = \frac{10^{-4} \cdot W_m}{\rho} \quad (10)$$

Para o cálculo do transporte de sedimentos,

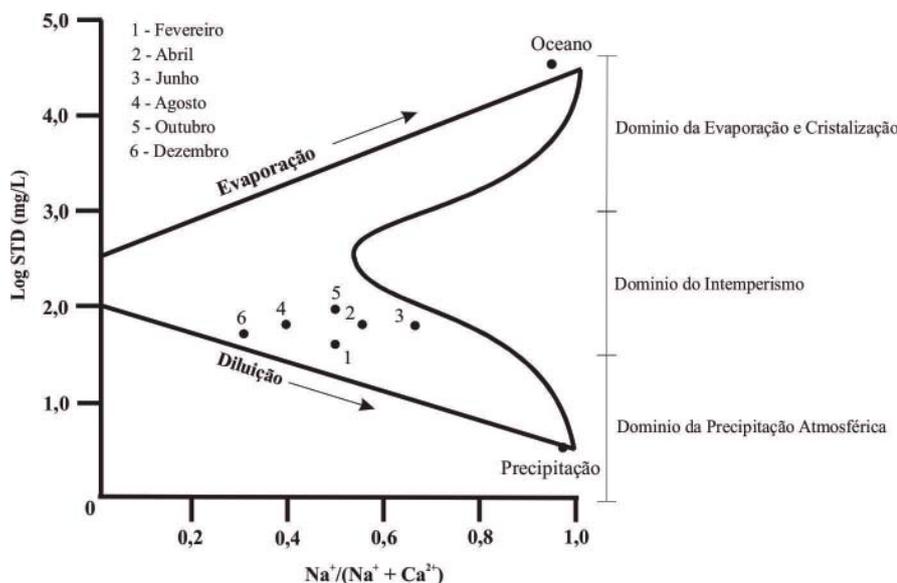


Figura 6 – Classificação das águas superficiais do Ribeirão Monjolo Grande, segundo o Diagrama de Gibbs (1970).

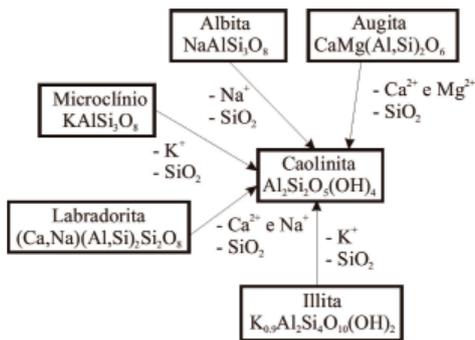


Figura 7 - Possíveis reações de intemperismo químico envolvendo as rochas sedimentares e ígneas da bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

utilizaram-se os dados da Tabelas 1 e a média da largura, profundidade e velocidade do Ribeirão Monjolo Grande, ou seja, 5,3 m, 0,14 m e 0,45 m/s, respectivamente. Utilizando-se a densidade dos solos da bacia do Ribeirão Monjolo Grande igual a 1,2 g/cm³, o fluxo anual de material sólidos removido pelo Ribeirão Monjolo Grande foi de 31 t/km²/ano ou 887 t/ano, com uma taxa de remoção de solos de 0,0026 cm/ano ou 26 m/Ma.

De acordo com Penteadó (1974), a proporcionalidade entre os processos intempéricos e de remoção dos solos levaria a um balanço de equilíbrio de erosão, onde a espessura do solo permaneceria intocada. Se a taxa de remoção do solo fosse maior que sua taxa de formação, haveria balanço positivo de erosão, com adelgaçamento do solo. Se o processo fosse inverso, haveria balanço negativo de erosão, com espessamento do solo. Com os resultados apresentados nesse trabalho para as taxas de intemperismo químico (7 m/Ma) e remoção de solos (26 m/Ma), conclui-se que há um balanço positivo no processo de erosão, com a espessura do solo sendo reduzida nas condições climáticas atuais.

4.5 - Influência sazonal

Para investigar a influência sazonal nos fluxos anuais de material removido e nas taxas de intemperismo químico e remoção do solo consideraram-se seis cenários distintos, para cada um deles levaram-se em conta as concentrações de sólidos totais dissolvidos e sólidos totais em suspensão e as vazões diárias de cada amostragem ao longo do ano de 2010 como se fossem as concentrações e vazões médias anuais, além da área da bacia, ou seja:

- cenário 1 (C1) = valores de fevereiro de 2010 com 183mm de precipitação;
- cenário 2 (C2) = valores de abril de 2010 com 48,6 mm de precipitação;
- cenário 3 (C3) = valores de junho de 2010 com 21,3 mm de precipitação;
- cenário 4 (C4) = valores de agosto de 2010 com 0 mm de precipitação;
- cenário 5 (C5) = valores de outubro de 2010 com 71,6 mm de precipitação;
- cenário 6 (C6) = valores de dezembro de 2010 com 273mm de precipitação;

Os valores obtidos para os fluxos anuais de material removido pelo intemperismo químico e pelo transporte de sedimentos são apresentados na Figura 8A. Como pode ser observado, o cenário 1 apresentou o maior valor para os fluxos anuais de material removido pelo intemperismo químico (54,3 t/km²/ano) e transporte de sedimentos (127,8 t/km²/ano), seguido pelo cenário 6 com 11,2 e 16,3 t/km²/ano. Nos cenários 2, 3, 4 e 5, os fluxos anuais de material pelo intemperismo químico foram maiores que os obtidos para o transporte de sedimentos. O cenário 4 foi o que apresentou os menores valores para os fluxos anuais de material removido pelo intemperismo químico (4,7 t/km²/ano) e transporte de sedimentos (3,7 t/km²/ano). Além disso, a Figura 8B mostra boas correlações lineares entre os fluxos anuais de material removido pelo intemperismo químico e transporte de sedimentos e as vazões sugeridas para cada cenário, podendo-se obter as seguintes equações:

$$W_q = 2,77.Q + 0,20 \text{ para } R^2 = 0,99 \text{ e } p = 0,01\% \quad (11)$$

$$W_m = 7,24.Q - 0,83 \text{ para } R^2 = 0,99 \text{ e } p = 0,01\% \quad (12)$$

Em relação às taxas de intemperismo químico e remoção do solo, os maiores e menores valores foram obtidos para os cenários 1 e 5, com taxas de 20,9 e 106,6 m/Ma e 2,2 e 1,6 m/Ma, respectivamente (Figura 9A). As taxas de intemperismo químico e remoção do solo também apresentaram boas correlações lineares com as vazões sugeridas para cada cenário (Figura 9B), como mostram as

equações 13 e 14. As taxas de intemperismo químico e remoção do solo também possuem boas correlações lineares entre elas, como ilustrado na Figura 10, sendo esta relação apresentada na Equação 15.

$$H_q = 11,78.Q + 0,84 \text{ para } R^2 = 0,99 \text{ e } p = 0,01\% \quad (13)$$

$$H_m = 66,69.Q - 7,61 \text{ para } R^2 = 0,99 \text{ e } p = 0,01\% \quad (14)$$

$$H_m = 5,65.H_q - 12,33 \text{ para } R^2 = 0,99 \text{ e } p = 0,01\% \quad (15)$$

Utilizando-se a Equação 15, pode-se obter um

valor que significa que as taxas de intemperismo químico e remoção de solos são iguais, ou seja, 2,65 m/Ma. Além disso, com o uso da Equação 14, pode-se obter uma vazão de 0,15 m³/s para que haja equilíbrio entre a intemperismo químico e remoção de solo na bacia do Ribeirão Monjolo Grande. Se as condições climáticas fizerem as vazões do Ribeirão Monjolo Grande serem menores que 0,15 m³/s haverá predomínio do intemperismo químico em relação à remoção de solo. Já com valores de vazão maiores que 0,15 m³/s as taxas de remoção de solo serão maiores que as de intemperismo químico na bacia do Ribeirão Monjolo Grande, fato

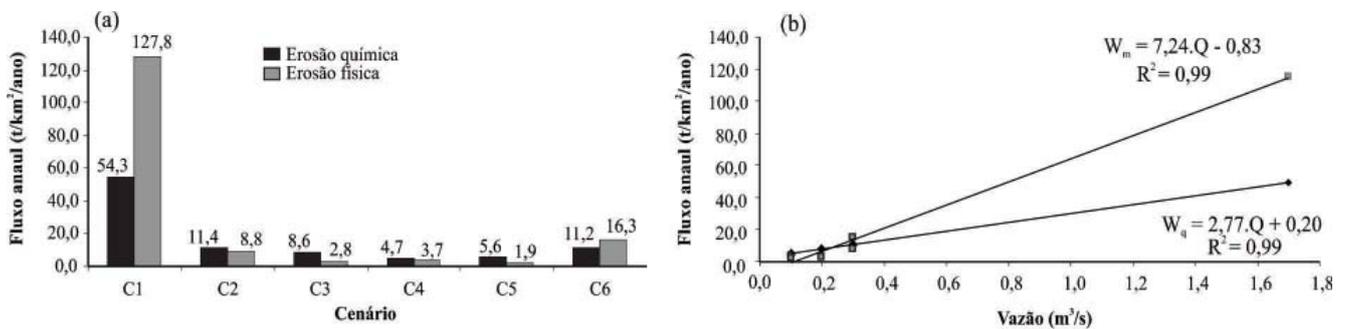


Figura 8 - Fluxo anual de material removido pelo intemperismo químico e transporte de sedimentos em diferentes cenários (A) e suas correlações com as vazões sugeridas para cada cenário (B) na bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

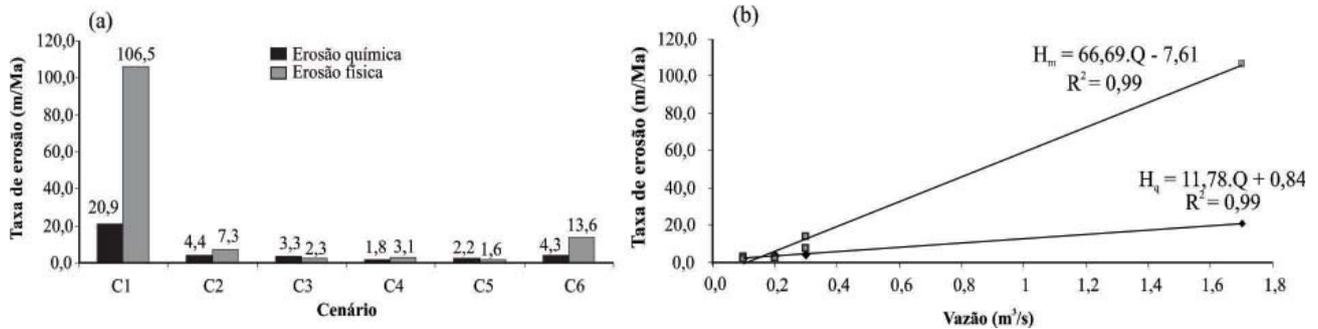


Figura 9 - Taxas de intemperismo químico e remoção do solo em diferentes cenários (A) e suas correlações com as vazões sugeridas para cada cenário (B) na bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

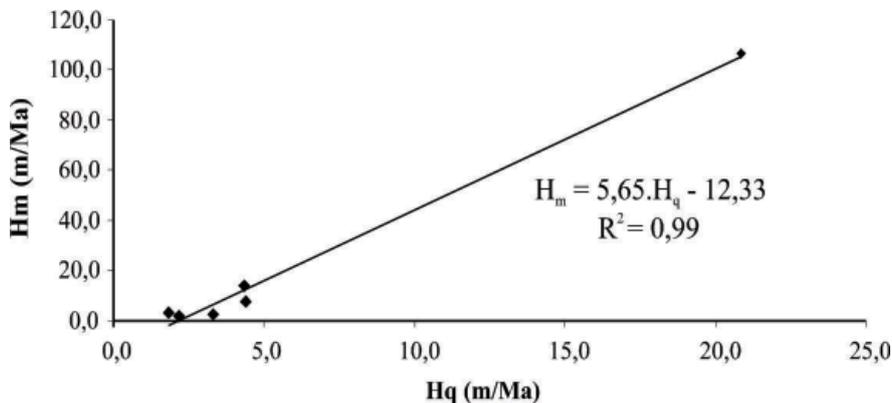


Figura 10 - Correlação entre as taxas de intemperismo químico e remoção do solo para cada cenário na bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

que aconteceu no ano de 2010, como indicado pelos resultados apresentados nesse estudo. Assim, para que o intemperismo químico seja maior que a remoção de solo necessita-se que a bacia do Ribeirão Monjolo Grande esteja sob condição climática com menor pluviosidade, como ocorre hoje na época de inverno. Já em condição mais chuvosa e quente, haverá predomínio da remoção de solo em relação ao intemperismo químico.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho procedeu à avaliação da qualidade de água e das taxas de intemperismo químico e remoção de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande, Ipeúna (SP). Foram analisados os seguintes parâmetros nas águas superficiais do Ribeirão Monjolo Grande em sua foz: pH, vazão, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos (STD) e sólidos totais em suspensão (STS). Também foram quantificados os principais cátions Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e os ânions HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} e F^- . Temperatura, vazão e STS apresentaram relação direta ao longo do ano, apresentando maiores valores durante o verão, mais quente e mais chuvoso, que permite maior entrada de água na bacia do Ribeirão Monjolo Grande e maior escoamento superficial. Condutividade elétrica e STD apresentaram relação direta, tendo os maiores valores registrada durante o inverno, com uma menor diluição dos elementos dissolvidos nas águas superficiais. O comportamento dos cátions seguiu a seguinte tendência: $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ e o comportamento dos ânions $\text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-}$ e F^- . O intemperismo químico foi de 182,5 t/ano ou 6,3 t/km²/ano, com uma velocidade de alteração da rocha de 0,0007cm/ano ou 7m/Ma, sendo necessários 143 mil anos para alterar 1 m de rocha nas condições climáticas atuais, com predomínio do processo de monossilicização. O transporte de sedimentos foi de 887 t/ano ou 31 t/km²/ano, com uma taxa de remoção de solo de 0,0026 cm/ano ou 26m/Ma, sendo a espessura do solo reduzida em relação à sua taxa de formação. Em uma situação de precipitação na qual a vazão atingisse um valor de 0,15m³/s haveria um equilíbrio entre as taxas de intemperismo químico e

remoção do solo (2,65 m/Ma). Com uma vazão menor que este valor, haverá predomínio das taxas de intemperismo químico e com valores maiores haverá predomínio das taxas de remoção de solo, fato que aconteceu no ano de 2010, como indicado pelos resultados apresentados nesse estudo.

6 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapesp (Processos nº 2011/08133-4 e 2012/19935-7) e ao CNPq (Processo nº 470215/2011-9) pelo apoio financeiro concedido durante a realização deste projeto. E. P. Spatti Junior e L. H. Pereira gostariam de agradecer as bolsas de mestrados recebidas da FAPESP (Processos nº 2008/57006-2 e 2007/06284-0).

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUDO, E. G. **Guia técnico de coleta e preservação de amostras de água**. CETESB. São Paulo, 1988.
- BAIN, C.; ROE, M. J.; DUTHIE, D. M. L.; THOMSON, C. M. The influence of mineralogy on weathering rates and processes in an acid-sensitive granitic catchment. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 16, n. 7-8, p. 931-937, 2001.
- BONOTTO, D. M.; MANCINI, L. H. Estudo Hidroquímico e Isotópico dos Aquíferos de Rio Claro (Sp). **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 6, n.2, p. 153-167, 1992.
- BONOTTO, D. M.; FUJIMORI, K.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M. Determination of weathering rate of the Morro do Ferro Th-REEs deposit, Brazil using U-isotope method. **Applied Radiation and Isotopes**, USA, v. 65, p. 474-481, 2007.
- BOEGLIN, J. L.; PROBST, J. L. Physical and chemical weathering rates and CO₂ consumption in a tropical lateritic environment: the upper Niger basin. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 148, n. 3-4, p. 137-156, 1998.
- CHEREN, L. F. S.; VARAJÃO, A. A. C.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. F. D. C.; BRAUCHER, R.; BOURLÉS, D.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; NALINI JUNIOR, H. A. Denudação química e rebaixamento do relevo em bordas

interplanauticas com substrato granítico: dois exemplos no SE de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, p. 3-14, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e Diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CLOW, D. W.; DREVER, J. I. Weathering rates as a function of flow through an alpine soil. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 132, n. 1-4, p. 131-141, 1996.

COLBY, B. R. Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. **Transactions, American Geophysical Union**. v. 38, n. 5, p. 708-719, 1959.

CONCEIÇÃO, F. T. ; BONOTTO, D. M. . Use of U-isotopes disequilibrium to evaluate the weathering rates and fertilizer-derived uranium at São Paulo State, Brazil. **Environmental Geology**, Berlin, v. 44, n.(4), p. 408-418, 2003.

CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 19, n.4, p. 575-591, 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo, 2009.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?lig=podfp>. Acessado em 10/10/2013. São Paulo, 2013.

FERNANDES, A. M. **Características hidroquímicas da bacia de drenagem do rio Sorocaba, SP**: processos erosivos mecânicos e químicos. Tese de Doutorado - Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2013.

GARRELS, R. M.; MACKENZIE, F. T. Origin of the chemical composition of some springs and lakes. In: **Equilibrium concepts in natural waters systems**. Washington: American Chemical Society, Advances in Chemistry Series, 1967.

GIBBS, R. J. The geochemistry of the Amazon River system: Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 78, n. 10, p. 1203-1232, 1967.

GRASBY, S. E.; HUTCHEON, I.; KROUSE, H. T. The influence of water-rock interaction on the chemistry of thermal springs in western Canada. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 15, n. 7, p. 439-454, 2000.

HACH. **Water analysis handbook**. 2nd ed. Hach Company, Loveland, Colorado, USA. 1992.

HODSON, M. E.; LANGAN S. J.; WILSON, M. J. A sensitivity analysis of the PROFILE model in relation to the calculation of soil weathering rates. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 11, n. 6, p. 835-844, 1996.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981.

JHONSON, M. N.; LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H.; PIERCE, R. S. Rate of chemical weathering of silicate minerals in New Hampshire. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 32, n. 5, p. 531-538, 1968.

KOPTSIK, G.; TEVEDAL, S.; AAMLID, D.; VENN, K. Calculations of weathering rate and soil solution chemistry for forest soils in the Norwegian-Russian border area with the PROFILE model. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 14, n. 2, p. 173-185, 1999.

LAND, M.; INGRI, J.; ÖLANDER, B. Past and present weathering rates in northern Sweden. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 14, n. 6, p. 761-774, 1999.

LANGAN, S. J.; REYNOLDS, B.; BAIN, D.C. The calculation of base cations release from the chemical weathering of soils derived from

- Paleozoic greywackes and shales in upland U.K. **Geoderma: an international journal of soil**, Amsterdam, v. 69, n. 3, p. 275-285, 1996.
- LEÃO, M. R.; REZENDE, E. A.; SALGADO, A. A. R.; NALINE JUNIOR, H. A. Erosão denudação e evolução do relevo da média Serra do Espinhaço meridional, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, (abr-jun) p. 113-124, 2012.
- LERMAN, A.; WU, L.; MACKENZIE, F. T. CO₂ and H₂SO₄ consumption in weathering and material transport to the ocean, and their role in the global carbon balance. **Marine Chemistry**, Amsterdam, v. 106, p. 326-350, 2007.
- MARTINI, I. P.; CHESWORTH, W. **Weathering, soils and paleosols**. Elsevier Science Publications, Amsterdam, 1992.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M. Use of 234U/238U disequilibrium in measuring chemical weathering rate of rocks. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 44, n. 1, p. 103-108, 1980.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M. Salinity and weathering rate of rocks in a semi-arid region. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 71, n. 1-2, p. 131-147, 1984.
- MORTATTI, J.; PROBST, J. L. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 197, n. 1, p. 177-196, 2003.
- MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; BORTOLETTO JÚNIOR, M. J. Piracicaba river basin: mechanical and chemical erosions. **Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 75-81, 2003.
- MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; FERNANDES, A. M.; MORTATTI, B. C.; OLIVEIRA, H. Influence of discharge on silicate weathering of the Tiete river basin: major cations and silica approach. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 22, p. 15-26, 2008.
- NKOUNKOU, R. R.; PROBST, J. L. Hydrology and geochemistry of the Congo River system. **Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Part 4**. SCOPE/UNEP–Sonderberg, n. 64, p. 483-508, 1987.
- PACES, T. Rates of weathering and erosion derived from mass balance in small drainage basins. In: **Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals**. Orlando: Academic Press Inc., 1986.
- PACHECO, F. A. L.; Van der WEIJDEN, C. H. Mineral weathering rates calculated from spring water data: a case study in an area with intensive agriculture, the Morais Massif, northeast Portugal. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 17, n. 5, p. 583-603, 2002.
- PAIVA, J. B. D.; BELING, F. A.; ROSA, L. H. **WinTRS – Cálculo de transporte de sedimentos em rios**. HDS-CT-UFSM. 2002.
- PEREIRA, L. H. **Caracterização da erosão hídrica laminar do solo em uma Bacia Hidrográfica com base na malha fundiária, por meio de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem**. 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.
- PENTEADO, M. M. Implicações tectônicas na gênese das cuestas da bacia de Rio Claro. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 8, n. 15, p. 19-41, 1941.
- PIPER, A. M. A. Graphic procedure in geochemical interpolation of wateranalyses. **Transactions American Geophysical Union**, v. 25, p. 914-928, 1944.
- PRADO, H.; OLIVEIRA, J. B.; ALMEIDA, C. L. A. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1981.
- PRESS, P.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- RICCOMINI, C. Considerações sobre a posição estratigráfica e tectonismo deformador da Formação Itaqueri na porção centro leste do estado de São Paulo. **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 18, pp. 41-48, 1997.

- SALGADO, A. A. R.; VALADÃO, R.C. Contribuição da desnudação geoquímica na evolução da erosão diferencial no Espinhaço Meridional – MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n. 2, p. 31-40, 2003.
- SALGADO, A. A. R.; COLIN, F.; NALINI JR, H. A.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, A. F. D.; VARAJÃO, C. A. C. O papel da desnudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, p. 55-69, 2004.
- SARDINHA, D.S. **Taxa de intemperismo químico e balanço anual de cátions e ânions na bacia do rio Jaú (SP)**. Qualificação (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro (SP) 2010.
- SARDINHA, D.S. Denudação Química e implicações na composição química das águas superficiais da bacia do rio Jaú (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 3 (Jul-Set), p. 337-349, 2013.
- SAWYER, C. N.; MC CARTY, P. L.. **Chemistry for sanitary engineers**. McGraw – Hill, New York, 1967, 518p.
- SCAPIM, J.; PAIVA, J.B.D.; BELING, F. A. Avaliação de técnicas de cálculo do transporte de sedimento em um pequeno rio urbano. **Revista Brasileira de Recursos hídricos**, v. 12, n. 4, p. 5-21, 2007.
- SEMHI, K.; SUCHET, P. A.; CLAUER, N.; PROBST, J. L. Impact of nitrogen fertilizers on the natural weathering-erosion processes and fluvial transport in the Garonne basin. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 15, n. 6, p. 865-878, 2000.
- STALLARD R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon: 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 88, n. 14, p. 9671-9688, 1983.
- SVERDRUPH.; WARFVINGE, P. Calculating field weathering rates using a mechanistic geochemical model PROFILE. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 273- 283, 1993.
- TARDY, Y. Characterization of principal weathering types by geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 7, n. 2, p. 253-271, 1971.
- TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. **Intemperismo e formação do solo**. In: Teixeira, W.; TOLEDO, M. C. M.; Fairchild, T. R.; Taioli, F. (Eds), *Decifrando a Terra*. Oficina de Textos, São Paulo, p. 139-136, 2000.
- TOOD, D. K. **Groundwater Hidrology**. John Wiley & Sons, New York, 1988.
- VELBEL, A. M.; PRICE, J. R. Solute geochemical mass-balances and mineral weathering rates in small watersheds: Methodology, recent advances, and future directions. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 22, n. 8, p. 1682-1700, 2007.
- WEIJDEN, H. V.; PACHECO, F. A. L. Hydrogeochemistry in the Vouga River basin (central Portugal): Pollution and chemical weathering. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 580-613, 2006.
- XU, Z.; LIU, C.Q. Water geochemistry of the Xijiang basin rivers, South China: Chemical weathering and CO₂ consumption. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 25, n. 10, p. 1603-1614, 2010.