



Revisitando a Cicloestratigrafia das formações ferríferas bandadas do Membro Dales Gorge (Grupo Hamersley, oeste australiano): Investigando os Ciclos de Milankovitch durante o Pré-Cambriano

Sabrina M. Sanchez*, Daniel R. Franco, Observatório Nacional (ON-MCT).

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Rochas originadas unicamente durante o Pré-Cambriano, as formações ferríferas bandadas ('banded iron formations' ou BIF's), ainda são consideradas um dos grandes problemas em aberto em Geologia – como por exemplo, no que diz respeito à sua gênese e os mecanismos paleoambientais que controlaram sua deposição em alternância de litologias, apresentando expressiva ritmicidade. A possibilidade de que grandes variações climáticas, conduzidas por processos naturais operantes em diferentes escalas de tempo - como a forçagem orbital e outros processos quase-periódicos vinculados à atividade solar - pudessem estar relacionados à deposição de tais rochas constitui uma oportunidade única, através de estudos cicloestratigráficos, de se obter novos 'insights' sobre o paleoclima durante o passado geológico profundo e seus possíveis mecanismos de indução. Neste trabalho, apresentamos resultados preliminares de estudo cicloestratigráfico apoiado em análise espectral de séries de dados em escala de cinza, obtidos por escaneamento em alta resolução de testemunhos referentes à estratigrafia (~ 150 m) de BIF's Paleoproterozóicos provenientes do Membro Dales Gorge (Grupo Hamersley, oeste Australiano), objetivando o possível reconhecimento de picos espectrais relacionados aos ciclos de Milankovitch, para posterior comparação com os modelos orbitais preditos para o Pré-Cambriano.

Introdução

As formações ferríferas bandadas ('banded iron formations' ou BIF's) são rochas caracterizadas por acamamentos de sedimentos finos com alternância de fácies ricas em ferro e sílica (Harnmeijer, 2003). Hematita, magnetita e siderita são os minerais mais abundantes das camadas ricas em ferro e o bandamento em geral pode aparecer em diversas escalas, de sub-milimétricas, interpretadas muitas vezes como 'varves', a métricas (Harnmeijer, 2003). As suas origens estão restritas ao Eon Pré-Cambriano, e são considerados como estando entre os mais antigos estratos

sedimentares do planeta (Simonson, 2003). A grande maioria destes depósitos teria se formado no período compreendido entre 3,8 Ga e 1,7 Ga, e, por tal razão, estariam presentes em boa parte dos escudos Pré-Cambrianos do mundo (Harnmeijer, 2003).

A fina laminação dos BIF's e a falta de componentes detríticos indicam deposição em ambientes aquosos de baixa energia, supostamente em bacias de plataformas oceânicas (Klein, 2005).

Os debates sobre a gênese dos BIF's ainda são consideravelmente controversos, sendo esta temática, segundo alguns autores (Klein, 2005, Simonson, 2003), um dos mais complexos problemas ainda não resolvidos da geologia. Vários estudos sugerem que a origem da expressiva disponibilidade de ferro nos oceanos que é revelada pelos BIF's seja explicável por eventos de atividade hidrotermal derivada de cadeias meso-oceânicas (Klein, 2005). Já os supostos motivos da alternância da precipitação do ferro sob a forma de óxidos poderiam ser compreendidos por diferentes processos: mudanças na condição redutora dos oceanos, metabolização por atividade microbiana, catalisação por raios ultravioletas, entre outras (e.g. Simonson 2003, Klein 2005, Harnmeijer 2003). É possível também que processos climáticos tenham tido influência decisiva na formação dos BIF's.

Alguns dos maiores depósitos de BIF's do mundo se encontram relacionados estratigraficamente à Bacia Hamersley (Trendall, 2002), que se estendem sobre parte do cráton Pilbara, oeste da Austrália. Seu baixo grau de metamorfismo (Klein, 2005) favoreceu a boa preservação dos padrões de bandamento associados em extensas áreas da bacia, o que o torna um ótimo candidato para estudos cicloestratigráficos.

Através da cicloestratigrafia, seria possível investigar possíveis relações entre a forte ritmicidade verificada pelo bandamento e mecanismos ambientais que teriam tido influência sobre a formação destes depósitos - como, por exemplo, ciclos climáticos oriundos de forçagem orbital, ou ciclos de Milankovitch. Estes são compreendidos pelo ciclo da variação da excentricidade da órbita terrestre (com duas principais semi-periodicidades de aproximadamente 405 e 100 mil anos), o ciclo da obliquidade do eixo de rotação (41 mil anos) e o ciclo da precessão deste mesmo eixo (26 e 19 mil anos) e podem ter sido fatores importantes na origem de acontecimentos frequentes de glaciações e alterações no nível de oxigenação dos mares (Klein, 2005). Há fortes evidências de que episódios de glaciações tenham sido as peças-chave na gênese dos BIF's do Neo-

proterozóico (Simonson 2003), que apresentam algumas diferenças com relação aos seus similares do Arqueano-paleoproterozóico, como no nível de granulação (Klein, 2005).

Neste trabalho, discutiremos os padrões de ciclicidade a partir de um estudo preliminar sobre a estratigrafia dos BIF's provenientes do Membro Dales Gorge, Grupo Paleo-proterozóico Hamersley, no oeste australiano.

Metodologia/ Problema Investigado

A estratigrafia do Membro Dales Gorge (Fig. 1) é dividida em 33 macrobandas: S (de 1 a 16), que consistem em folhelhos, chert e carbonatos (principalmente siderita) e de BIF's (BIF0 a BIF16), estas compostas basicamente de formações ferríferas bandadas com chert. As macrobandas de BIF's são por sua vez formadas por mesobandas de chert alternadas com mesobandas de materiais finamente granulados ricos em ferro, principalmente magnetita, e denominadas como "matriz-chert" (Trendall, 1983). Nas mesobandas de chert há um grande padrão de repetição de lâminas com maior ou menor quantidade de ferro, geralmente na forma de hematita.

Para que fosse possível a investigação das periodicidades observadas nos BIF's do Membro Dales Gorge, procedemos com o escaneamento de imagens (resolução de 200 dpi) de testemunhos que cobrem estratigraficamente cerca de 140 metros, e que foram

coletados nas proximidades de Wittenoon Gorge (Trendall & Blockley, 1968).

A partir destas imagens, foram obtidas séries de dados em escala de cinza (0=preto; 255=branco) em resolução horizontal de aproximadamente 9,4 pixels/cm (Fig. 2), correspondente a cada seção de testemunho, de cerca de 2 m de comprimento, através da seleção de linha ao longo do comprimento da imagem. Tais séries de dados foram então dispostas de maneira a representar cada um dos oito testemunhos ('plates', segundo a designação original de Trendall & Blockley, 1968). Tal procedimento possibilitará com que, na próxima etapa deste projeto, avaliem-se as feições harmônicas contidas neste longo registro geológico. Isto por intermédio de calibração astronômica, isto é, a associação das principais freqüências relacionadas aos ciclos orbitais com as oriundas das séries estratigráficas. Não obstante, devido a questões que envolvem dissipação de energia por efeitos de marés do sistema Terra-Lua, os ciclos orbitais, à exceção da excentricidade, apresentam variação de período ao longo do tempo geológico (Berger et al., 1992).

Assim, para o Pré-Cambriano, os períodos relativos aos ciclos de precessão e obliquidade apresentaram valores consideravelmente diferentes dos conhecidos para o Cenozóico, e modelos feitos para tal fim possuem grande incerteza, pelo desconhecimento de certos antigos fatores da dinâmica Terra-Lua (Hinnov, 2007). Para contornar este problema, as periodicidades relativas ao ciclo da excentricidade serão usadas neste trabalho como apoio para o trabalho de calibração astronômica.

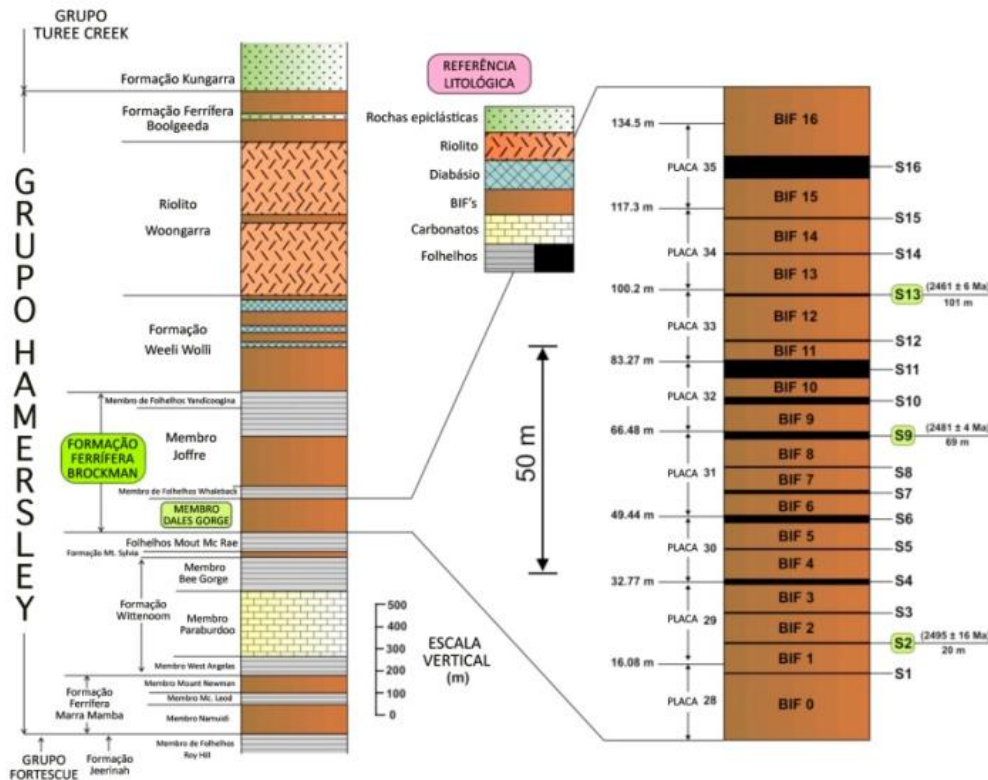


Figura 1 – Coluna estratigráfica e as subdivisões litológicas do Grupo Hamersley. Pela figura é possível observar detalhadamente a estratigrafia do Membro Dales Gorge (Formação Brockman), com suas divisões em 'placas' estratigráficas e à esquerda estão as datações das macrobandas S, seguindo a designação original de Trendall & Blockley (1968). Modificado de Trendall et al, 2004).

Para analisar as periodicidades das séries estratigráficas, foram usados algoritmos baseados em transformada de Fourier, para a estimação do espectro de potências. O estimador espectral usado neste trabalho leva em conta o Método Thomson Multitaper (MTM), para evitar os efeitos da descontinuidade dos dados ao estimar o espectro (Weedon, 2003). Periodogramas e análise de tempo-frequência também serão posteriormente utilizadas, de acordo com um script para o software MATLAB, desenvolvido por Linda Hinnov (Johns Hopkins University, EUA) e Florian Maurer e

posteriormente modificado por Daniel Franco (ON-MCT) para os propósitos desta investigação.

Resultados

Para este trabalho, nos baseamos na discussão sobre a estratigrafia adotada originalmente por Trendall e Blockley (1967), que engloba os aspectos litológicos da sucessão de BIF's através dos oito testemunhos que representam a sucessão estudada. Temos ainda que a

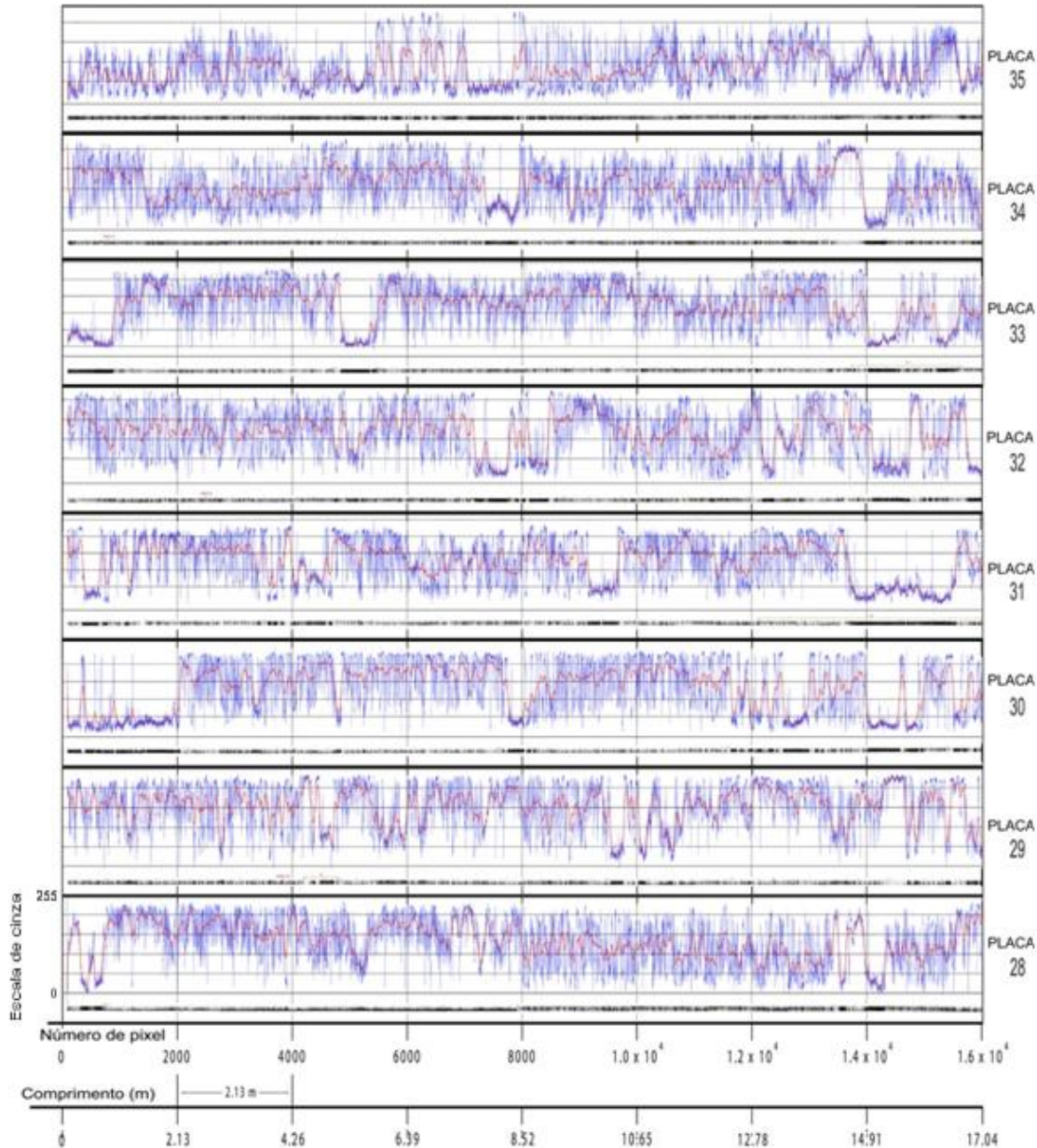


Figura 2 - Séries originadas dos tons de cinza da imagem dos testemunhos, separadas em oito placas de aproximadamente 17m.

partir de estudos geocronológicos realizados para o Grupo Hamersley (Trendall et al, 2004), foram determinadas três datações (método SHRIMP U-Pb) para a seqüência estratigráfica, a saber: 2495 ± 16 Ma (para S2); 2481 ± 4 Ma e 2461 ± 6 Ma (para as macrobandas S9 e S13, respectivamente). Como procedimento de análise, definimos o estudo pela divisão de dois trechos, determinados por dois intervalos de datação: de 14 Ma entre as macrobandas S2 e S9 e 20 Ma entre S9 e S13, que apresentam claramente distintas taxas de sedimentação, se considerarmos em termos absolutos. São elas de 1.6 m/Ma e 3.5 m/Ma.

Também efetuamos combinações das séries de dados referentes a placas adjacentes (aos pares), com o intuito de se maximizar a probabilidade de identificação de longos períodos. Por conseguinte, as periodicidades relacionadas aos ciclos de excentricidade de 405 ka e 100 ka, que apresentam razão espectral de $\sim 1 : 4$, poderiam ser identificáveis através de proporções entre picos espectrais que obedecessem aproximadamente tal razão. Desta maneira, a Figura 3 apresenta a disposição de três espectros de potências, para as sucessões de placas 28+29, 30+31 e 32+33. É possível observar-se um padrão, recorrente para todos os exemplos expostos, de picos espectrais em baixas frequências, e que poderiam ser relacionados a um artefato gerado pela largura das séries.

Com relação ao processo de análise espectral e verificação dos padrões harmônicos estudados, é possível fazer-se algumas inferências preliminares com respeito ao espectro exibido na figura 3-C, correspondente à composição das placas 32 e 33 e que se encontra totalmente restrito no intervalo S9 – S13 (correspondendo, portanto, a cerca de 20 Ma de sedimentação). Assim, este período seria relacionável ao comprimento total da série 32+33 em pixels ($=31.825$ pixels). Assumindo, para esta seção estratigráfica, taxas de sedimentação média aproximadamente constantes e valor de período maior que o ciclo de excentricidade de 405 ka, temos um possível comprimento de onda, em pixels, para este ciclo, de $\sim 644,45$ pixels. Este valor, correspondente a uma frequência de $\sim 15,51 \times 10^{-4}$ pixels $^{-1}$, é bem próximo dos valores de picos espectrais verificados em torno de $15,26 \times 10^{-4}$ pixels $^{-1}$. Segundo a proporção espectral $1 : 4$ discutida acima, observa-se como possível candidato ao ciclo de menor excentricidade de 100 ka o valor de $59,2 \times 10^{-4}$ pixels $^{-1}$.

Discussões Finais

Conforme discutido anteriormente, a variabilidade das periodicidades relativas aos ciclos da precessão e obliquidade faz com que a calibração astronômica resulte mais desafiadora do que para épocas relativas ao Fanerozóico, na qual as taxas entre os ciclos orbitais foram mais investigadas.

Segundo trabalhos anteriores sobre a cicloestratigrafia do Grupo Hamersley, a Formação Weeli Wolli (Fig. 1), que consiste basicamente em BIF's intercalados com algumas soleiras de diabásio, apresenta fortes evidências de uma periodicidade

sistemática relativa às microbandas de 23,3 anos, similar aos ciclos de manchas solares de Hale, embora ainda não seja certa a influência de forçagem orbital (Trendall, 1973). A partir desta informação, Walker & Zahnle (1986) estimaram a distância Terra-Lua com respeito ao Paleoproterozóico, e com isso as principais periodicidades dos ciclos orbitais. Estes são de ~ 17.000 anos para o ciclo da obliquidade e de ~ 13.000 para o da precessão. Para as placas E e F, que foram até agora analisadas com mais detalhe, vislumbramos dois candidatos aos ciclos da excentricidade. A partir daqui, estudos sobre a recorrência desses picos serão feitos para as outras sucessões de placas. Se houver evidências de forçagem orbital, isso indicará a clara presença do clima como modelador do bandamento das formações ferríferas Pré-cambrianas. Como consequência, dados sobre condições climáticas e evolução química do sistema atmosfera-hidrosfera referente às fases tidas como as mais antigas da Terra poderão trazer a tona novas informações relevantes sobre o Pré-Cambriano.

Também é importante salientar que, segundo Trendall et al. (2004), o intervalo de tempo correspondente às macrobandas S2 e S13 foi de ~ 34 Ma, indicando uma taxa média de deposição de 2,38 /Ma. Mas, baseando-se na taxa de deposição de outro membro do Grupo Hamersley, o Membro Joffre (constituído de BIF's e sem intercalações de camadas de folhelhos como no Membro Dales Gorge), com taxa de sedimentação média de 180 m/Ma, há a possibilidade de que, supondo condições de deposição similares, que a taxa de deposição seja muito diferente para as bandas BIF e S para o Membro Dales Gorge (Fig. 4). Esse é um fator digno de ser levado em consideração, e uma das possibilidades de análise posterior a esse problema seria a aplicação das técnicas de análise espectral para as macrobandas BIF e S, separadamente.

Ademais, seria possível a inferência de possíveis taxas espectrais para os ciclos de precessão e obliquidade para o Paleoproterozóico – de considerável importância para trabalhos de modelagem astronômica para o tempo geológico profundo e sobre a evolução do sistema Terra-Lua, considerada como um estabilizador para as perturbações orbitais (Berger et al., 1993). Tal etapa do trabalho permitiria, se bem sucedida, a conversão dos picos espectrais para o domínio do tempo, permitindo assim, a investigação de possíveis processos quase-periódicos em escala milenar que porventura tenham relação com o processo de deposição dos BIF's.

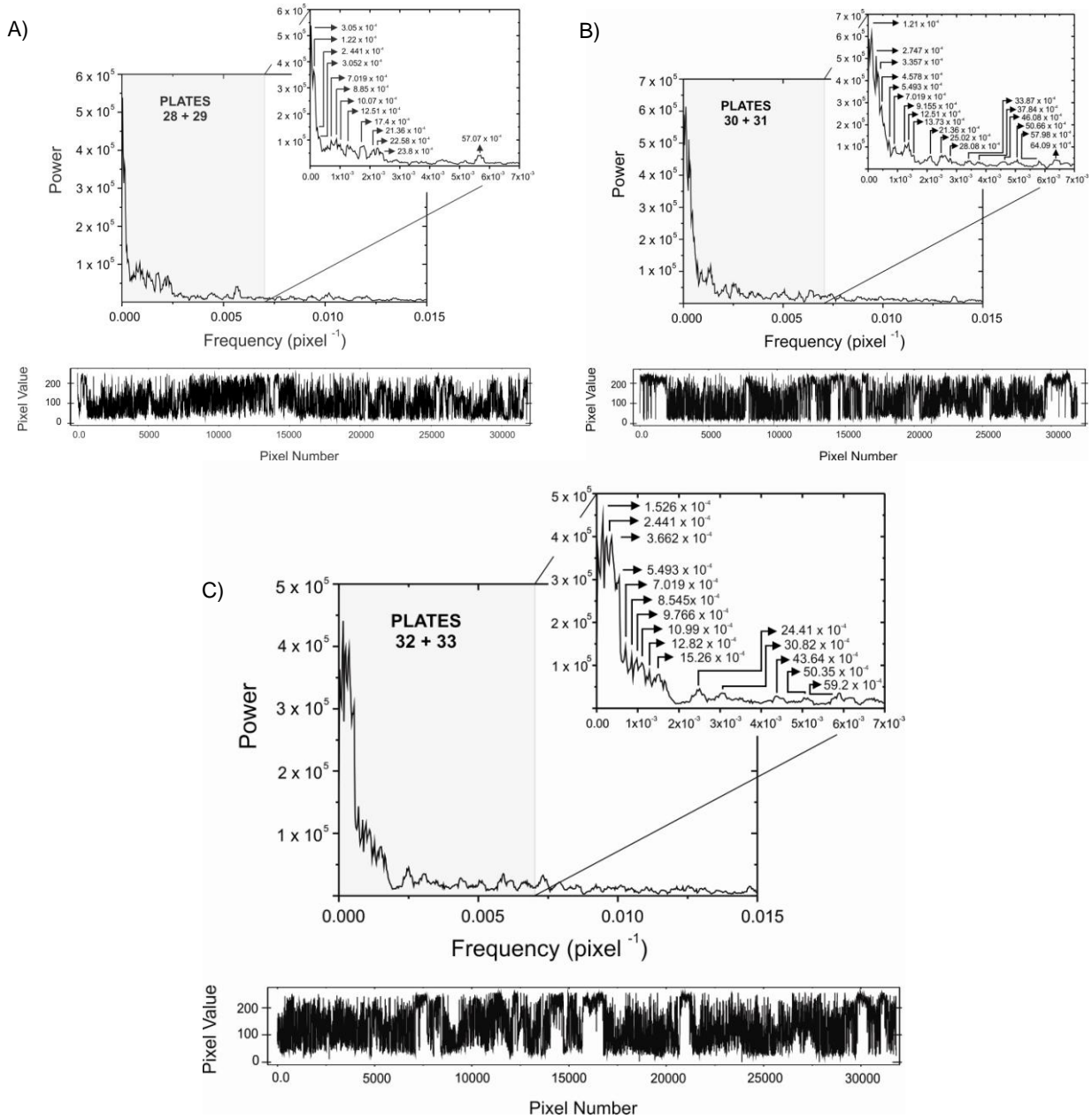


Figura 3 - Séries de dados de escala de cinza, provenientes de escaneamento em alta resolução de imagens de representativas composições de testemunhos 28+29, 30+31 e 32+33 ((A), (B) e (C), respectivamente), e associadas aos seus respectivos espectros de potência. Em (C) os picos espectrais referentes a 15.26×10^4 e 59.2×10^4 pixel^{-1} são os candidatos a periodicidades relativas ao ciclo de variação da excentricidade, nos resultados preliminares.

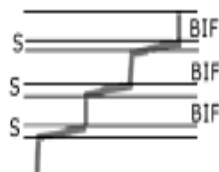


Figura 4 – Representação esquemática para exemplificação da hipótese de diferentes taxas de deposição para as bandas BIF e S (Modificado de Trendall et al., 2004).

Referências

Berger, A., Loutre, M. F. & Laskar, J., 1992. Stability of the Astronomical Frequencies over the Earth's History for Paleoclimates Studies. *Science*, 255: 560-566.

Harnmeijer, J. P., 2003. "Banded Iron-Formations: A continuing enigma of geology." University of Washington.

Hinnov, L. A & Ogg, J. G., 2007. Cyclostratigraphy and the Astronomical Time Scale. *Stratigraphy*, vol. 4: 239-251.

Klein, C., 2005. Some Precambrian iron-formations (BIF's) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. *American Mineralogist*, 90: 1473-1499.

Simonson, B.M., 2003. Origin and evolution of large Precambrian iron formations. *Geological Society of America Special Paper*, 370: 231-244.

Trendall, A. F. & Blockley, J. G., 1968. Stratigraphy of the Dales Gorge Member of the Brockman Iron Formation, in the Pre-cambrian Hamersley Group of Western Australia. *Western Australia Geological Survey Annual Report*, 1967, p. 48-53.

Trendall, A. F., 1973. Varve Cycles in the Weeli Wolli Formation of the Precambrian Hamersley Group, Western Australia. *Economic Geology*, 68: 1089-1097.

Trendall, A. F., 1983. The Hamersley Basin. *In*: Trendall A. F. & Morris R. C. eds. *Iron-Formation: Facts and Problems*, p. 69-129. Elsevier, Amsterdam.

Trendall, A. F., 2002. The significance of iron-formation in the Precambrian stratigraphic record. *Special Publication, International Association of Sedimentologists*, 33, 33-66.

Trendall, A. F., 2004. SHRIMP zircon ages constraining the depositional chronology of the Hamersley Group, Western Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 51: 621-644.

Walker, J. C. G. & Zahnle, K. J., 1986. Lunar nodal tide and distance to the Moon during the Precambrian. *Nature*: 320, p. 600-602.

Weedon, G. P., 2003. *Time-series Analysis and Cyclostratigraphy*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.