

## ANÁLISE COMPARATIVA DO COMPORTAMENTO DOS INTERGLACIAIS DURANTE O FINAL DO QUATERNÁRIO

Francisco Franklin Sousa Rios<sup>1</sup>; Alexandre Araújo Costa<sup>1</sup>; Tyhago Aragão Dias<sup>1</sup>;  
Felipe Viana Pementel<sup>1</sup>  
frfranklin.rios@gmail.com

<sup>1</sup>- Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Universidade Estadual do Ceará – Av. Paranjana, 1700 – Fortaleza-CE, Brasil.

*Palavras-chave:* Paleoclimatologia, Interglaciais, Parâmetros Orbitais, Eventos MIS

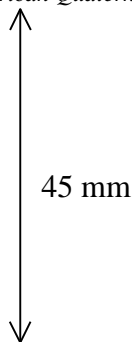
### 1. INTRODUÇÃO

Em meados do século XIX inicia-se o período de registros instrumentados de temperatura e, de posse dessas informações, foi possível observar que a última década do século XX foi a mais quente registrada desde então. Na década de 1990, encontram-se 10 dos 15 anos mais quentes do século passado, entre eles os 6 mais quentes. É importante, portanto, verificar como a variabilidade climática atual se compara com àquela em escala de séculos ou milênios, para uma correta atribuição do papel antropogênico na dinâmica do clima corrente, o que só pode ser feito a partir da reconstrução dos dados de clima anteriores à era instrumental.

No que diz respeito à relação entre a concentração dos gases de efeito estufa (GEEs) e temperatura, reconstruções paleoclimáticas apresentadas no AR4, o 4º relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), mostram que a relação entre dióxido de carbono e temperatura é bem estabelecida, com o crescimento das concentrações de GEEs acompanhando os períodos mais quentes.

Segundo o AR4, muitos estudos sugerem que a insolação durante o verão setentrional exerce um papel muito relevante, de modo que se ela for inferior a um determinado limiar, a neve acumulada no inverno anterior não derrete por completo, acumulando-se e levando à expansão da camada de gelo. A elevada refletividade desta camada introduz uma retroalimentação positiva, ao reduzir a quantidade de energia absorvida pela superfície do planeta. A crescente expansão da calota polar leva ao início de um período glacial ou “era do gelo”.

Os gases de efeito estufa, com destaque para dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) introduzem um efeito adicional (e importante) de retroalimentação positiva. Dados de “ice cores” do continente Antártico mostram que as concentrações desses gases são significativamente reduzidas durante os períodos glaciais (menos de 200 ppm de CO<sub>2</sub> e cerca de 400 ppb de CH<sub>4</sub>), elevando-se durante os períodos interglaciais, aproximando-se de 300 ppm de CO<sub>2</sub> e ultrapassando 600 ppb de CH<sub>4</sub>).



O presente estudo tem como objetivos identificar padrões, periodicidades e tendências no conjunto dessas séries e comparar a evolução do Holoceno (período interglacial do presente) com a evolução dos interglaciais anteriores.

## 2. METODOLOGIA

As séries de dados dos parâmetros orbitais foram geradas utilizando a rotina de estimativa disponível em <http://www.imcce.fr/Equipes/ASD/insola/earth/online/index.php>.

Os dados analisados, CH<sub>4</sub> (Loulergue et al. 2008) e CO<sub>2</sub> (Lüthi et al. 2008), foram selecionados dos dados de reconstrução climática de *ice-cores* disponíveis no *site* de Paleoclimatologia do *National Climatic Data Center* (NCDC). Em seguida, foram interpolados para uma escala uniforme de tempo e feitos recortes dos intervalos de tempo correspondentes a 20 kyr antes e 20 kyr após os picos de concentração de GEEs, próximos aos eventos de Estágio do Isótopo Marinho (*Marine Isotope Stage - MIS*), e analisando o comportamento das curvas de concentração e concentração foi possível verificar as discrepâncias entre os diversos períodos interglaciais, com ênfase no Holoceno.

## 3. RESULTADOS

A figura 1 mostra a variação dos parâmetros orbitais (Ciclos de Milankovitch) nos últimos 800 mil anos. É possível observar uma possível modulação na precessão causada pela excentricidade, de forma que quanto mais excêntrica a órbita do planeta Terra, maior é a amplitude do parâmetro de precessão. A combinação desses parâmetros aparentemente é o que configura o início de um interglacial. Podemos observar que o MIS 11c assemelha-se ao Holoceno (MIS 1) em sua configuração orbital de baixa excentricidade e amplitude da precessão o que pode ser motivo de semelhança entre os dois, pelo menos antes da componente antrópica surgir de forma mais contundente. As tarjas na cor cinza representam os períodos em que foram feitos os recortes nas séries de metano e dióxido de carbono em nossa análise.

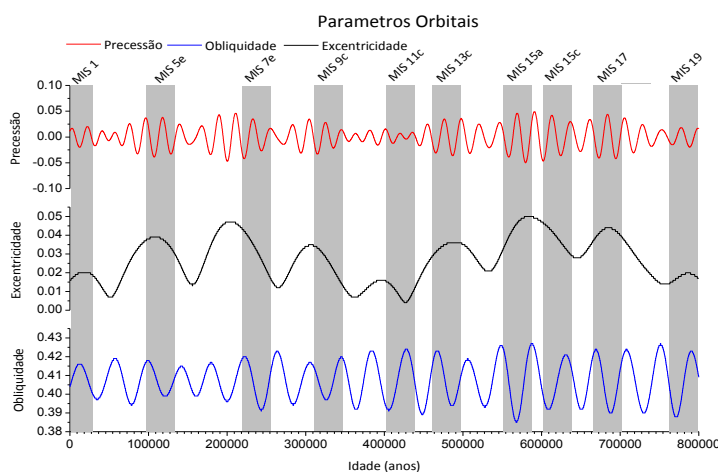
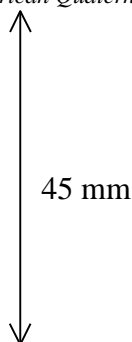


Figura 1 parâmetros orbitais (Ciclos de Milankovitch) nos últimos 800 mil anos.



As figuras 2 e 3 mostram as concentrações de metano e dióxido de carbono para o Holoceno e os demais períodos interglaciais sobrepostos. É possível verificar que o conjunto dos períodos interglaciais é antecedido por uma elevação da concentração destes gases, seguida por uma queda mais ou menos gradual (certos interglaciais apresentam reduções mais bruscas do que outros).

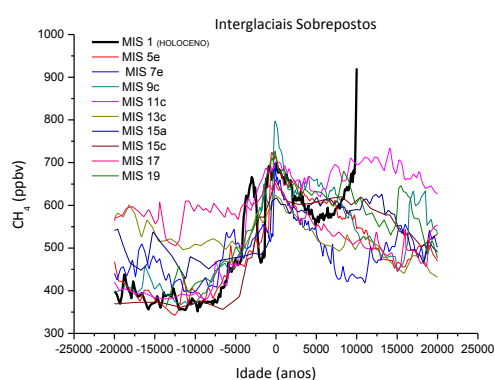


Figura 2 concentração de metano nos interglaciais.

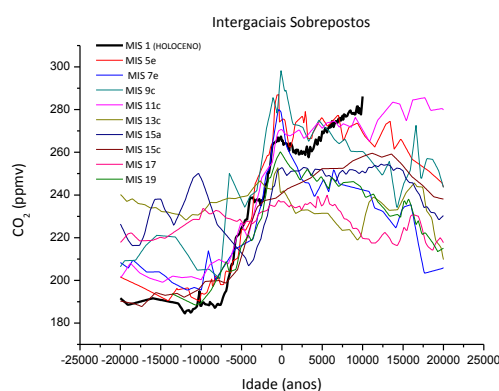


Figura 3 concentração de dióxido de carbono nos interglaciais.

O Holoceno, destacado pela linha negra, exibe um comportamento obviamente divergente dos demais, que inclui não somente a súbita elevação da concentração de CH<sub>4</sub> no período industrial (indicada pela inclinação quase vertical ao final da curva), mas a elevação gradual dessa concentração já desde aproximadamente 5 kyr (mais evidente nos últimos 3 kyr), o que, se de um lado pode sugerir uma influência significativa das atividades humanas sobre a composição química da atmosfera e o clima já desde o estabelecimento das atividades agropastoris em diversas civilizações antigas, por outro ocorreu, pelo menos no que diz respeito ao CO<sub>2</sub>, e numa escala menor, com o MIS11. É também significativa a diferença entre o início do Holoceno e o início dos demais interglaciais, com a oscilação brusca na concentração de metano, que provavelmente está associada ao chamado evento de Younger Dryas (Mott et al. 1986).

A tabela 1 apresenta o coeficiente de correlação de Pearson entre as séries do metano para o Holoceno e os demais interglaciais (de 20 mil anos antes do pico até o fim do Holoceno) e destaca-se o MIS 11 como o estágio de maior correlação. As figuras 4 e 5 mostram as concentrações dos GEEs nos eventos de maior correlação entre si: MIS 1, MIS 11c e as médias de todos e dos 4 mais recentes, ambas sem o holoceno.

	MIS 1 (Holoceno)	MIS 5e	MIS 7e	MIS 9c	MIS 11c	MIS 13c	MIS 15a	MIS 15c	MIS 17	MIS 19
MIS1 (Holoceno)	1	0.89	0.61	0.87	<b>0.94</b>	0.29	0.76	0.90	0.05	0.90

Tabela 1 coeficientes de correlação de Pearson entre séries de metano (ver texto para detalhes).

↑  
45 mm  
↓

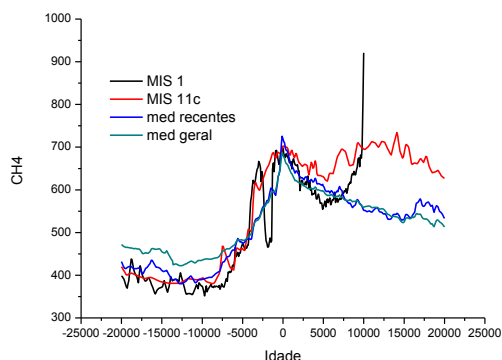


Figura 4 concentração de metano nos interglaciais (MIS 1, MIS 11c, médias e médias recentes).

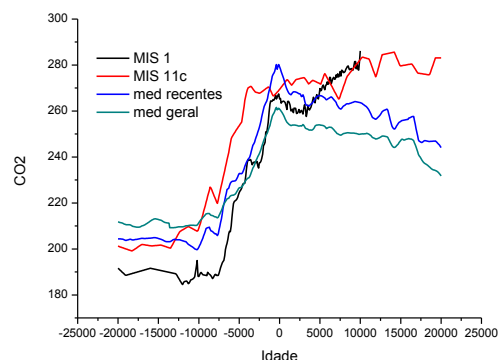


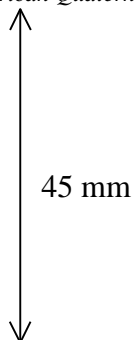
Figura 5 concentração de dióxido de carbono nos interglaciais (MIS 1, MIS 11c, médias e médias recentes).

As Figura 4 e 5 mostram que um segundo máximo nas concentrações de gases de efeito estufa após uma deglaciação podem ocorrer, como quando do MIS11. Esta é uma motivação para se investigar melhor a hipótese do “Antropoceno prematuro”, já que condições naturais também podem vir a produzir uma segunda elevação dessas concentrações (apesar de em nenhum dos interglaciais, particularmente no MIS11 haver uma mudança tão súbita e de tão grandes proporções quanto a do período industrial). O uso de ferramentas de modelagem, como modelos do sistema terrestre completamente acoplados (atmosfera-oceano-biosfera-criosfera, com ciclagem do carbono) pode contribuir para elucidar tais questões e se conhecer o espectro de possibilidades de evolução dos interglaciais, o que é importante para a atribuição das mudanças climáticas antropogênicas.

#### 4. CONCLUSÕES

A configuração dos parâmetros orbitais é um modulador da intensidade e duração dos interglaciais, e os divide em grupos nos quais podemos classifica-los como quente e frio ou curto e longo (TZEDAKIS et al. 2009), porém todos eles obedecem a um aquecimento mais rápido e um resfriamento mais lento, como podem ser observados nas figuras de concentração de GEEs.

O Holoceno e o MIS 11 fazem parte de um grupo em que se tem uma queda de temperatura bem menos pronunciada que pode ter como causa a configuração orbital, porém é possível observar que nos últimos cinco mil anos temos uma curva crescente que vem se acentuando principalmente depois da revolução industrial, o que nos leva a questionar o fator antropogênico como fator ativo no quadro de causas dessas variações de concentrações menos recentes. Tal hipótese será verificada posteriormente por meio de estudos de modelagem acoplada do sistema terrestre.



## REFERÊNCIAS

JASPER, J. P. e HAYES, J. M. 1990. A carbon isotope record of CO<sub>2</sub> levels during the late Quaternary. *Nature*, vol. **347**, pp. 462–464.

LASKAR, J., JOUTEL, F. e BOUDIN, F. 1993. Orbital, precessional and insolation quantities for the Earth from –20 Myr to +10 Myr. *Astronomy and Astrophysics* vol. 270, pp. 522–533.

LASKAR, J., ROBUTEL, P., JOUTEL, F., GASTINEAU, M., CORREIA, A.C.M., LEVRARD, B. 2004. A long term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *A&A* vol.428, pp. 261-285.

LOULERGUE, L. A. SCHILT, R. SPAHNI, V. MASSON-DELMOTTE, T. BLUNIER, B. LEMIEUX, J. M. BARNOLA, D. RAYNAUD, T. F. STOCKER, e CHAPPELLAZ, J. 2008. Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH<sub>4</sub> over the past 800,000 years. *Nature*, vol. 453, pp. 383-386.

LÜTHI, D. M. LE FLOCH, B. BEREITER, T. BLUNIER, J. M. BARNOLA, U. SIEGENTHALER, D. RAYNAUD, J. JOUZEL, H. FISCHER, K. KAWAMURA, e T. F. STOCKER. 2008. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. *Nature*, vol. 453, pp. 379-382.

MOTT, R. J. GRANT, D. R. STEA, R. OCCHIETTI, S. 1986. Late-glacial climatic oscillation in atlantic canada equivalent to the allerod younger dryas event, *Nature*, vol. 323, pp. 247-250.

PACHAURI, R. K e REISINGER, A. (EDS.) 2007. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*, Geneva, Switzerland, 104 pp.

TZEDAKIS, P.C. RAYNAUD, D. MCMANUS, J. F. BERGER, A. BROVKIN, V. E KIEFER, T. 2009. Interglacial diversity. *Nature Geoscience*. vol. 2. pp. 751-755.