

11 Climas do passado

O estudo de climas passados oferece uma perspectiva única para entender a sensibilidade e estabilidade do clima da Terra.

Os registros paleoclimáticos nos dizem que nosso planeta registrou uma ampla gama de climas em muitas escalas de tempo.

PARCEIROS

Universidade Federal Fluminense (UFF), Brasil

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (IG-USP), Brasil

Observatório Nacional, Rio de Janeiro (COGE), Brasil

Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Brasil

Centro de Energia Nuclear para a Agricultura, Universidade de São Paulo (CENA-USP), Brasil

Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ-LARAMG), Brasil

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

Instituto de Proteção Radiológica e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Brasil

Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), França

Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), Brasil

Instituto de Astronomia, de Geofísica e Ciências Atmosféricas (USP), Brasil

Por que estudar climas passados?

Os compartimentos biosféricos, atmosfera, oceanos, criosfera e sistemas terrestres se modificam ao longo do tempo geológico determinando modificações na composição e evolução dos organismos vivos no planeta incluindo a espécie humana. A partir da revolução industrial a sociedade humana disponibilizou grandes estoques de carbono que estavam armazenados no compartimento geológico e que hoje em conjunto com alterações no ciclo biogeoquímico do carbono e do nitrogênio promovem o que se chama de mudanças climáticas antropogênicas. Desta forma o entendimento do clima passado se faz relevante nos dias atuais, na busca de parâmetros comparativos entre as tendências das mudanças climáticas causadas pelas emissões humanas de gases do efeito estufa com as mudanças climáticas relacionadas as forçantes climáticas naturais. Considerando que os compartimentos biosféricos tem importâncias específicas para as mudanças climáticas destaca-se a importância planetária dos sistemas terrestres neotropicais em especial a Amazônia. A Amazônia desempenha um papel importante no funcionamento do clima da Terra. A água reciclada através da transpiração das florestas influencia a distribuição espacial da precipitação na Amazônia. Desta forma as florestas tropicais têm uma influência reguladora importante no clima local e regional, através da modulação da troca de umidade e energia entre a terra e a atmosfera. O desmatamento assim como as mudanças de vegetação relacionadas a mudanças climáticas perturbam essa troca diminuindo consideravelmente a recarga de vapor d'água para a atmosfera, resultando em uma diminuição das precipitações.

Além disso, a constante insolação, temperatura e principalmente pluviosidade faz com que a floresta tropical amazônica seja um dos mais produtivos ecossistemas do mundo concentrando grande biomassa com grande representatividade em relação ao ciclo do carbono global. Entretanto, são ecossistemas extremamente frágeis suscetíveis a vários tipos de fenômenos de



Principais locais de trabalho relacionados ao entendimento de mudanças paleoclimáticas e sobre os processos de acumulação de carbono em área de inundação na Amazônia.

distúrbios que podem alterar sua produtividade, biomassa e consequentemente os ciclos biogeoquímicos associados

Portanto, é crucial examinar a variabilidade climática para além da era dos dados climáticos instrumentais através de estudos paleoclimáticos (observacionais e de modelagem), se quisermos entender a amplitude das mudanças climáticas naturais, a rapidez com que as mudanças ocorrem, quais são os mecanismos em escalas regional e global, e quais fatores de força externos ou internos controlá-los. De fato, os registros instrumentais são geralmente considerados não longos o suficiente para dar um quadro completo de la variabilidade climática e provavelmente também foram influenciados por ações humanas.

Estes estudos oferecem uma perspectiva única para entender a sensibilidade e estabilidade do clima da Terra. Os arquivos paleoclimáticos nos dizem que nosso planeta registrou uma ampla variedade de climas em várias escalas de tempo. Sabemos que muitas dessas mudanças do passado foram influenciadas por fatores como parâmetros orbitais, variabilidade da atividade solar, vulcões, e emissão e absorção de gases do efeito estufa.

PARCEIROS

Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM)

Universidade Federal do Ceará (UFC), Brasil

Embrapa Solos, Brasil

Universidade de Göttingen, Departamento de Palinologia e Dinâmica Climática, Alemanha

Centro Nacional de Monitoramento de Catástrofes Naturais (CEMADEN), Brasil

Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Brasil

Na medida em que modelos climáticos podem razoavelmente simular as alternâncias quentes e frias do passado, ganhamos confiança de que os modelos podem ser usados para estudar o clima futuro da Terra.

Como são estudados os climas do passado?

Os estudos multidisciplinares do clima recente e passado e seus impactos sobre ecossistemas continentais na Amazônia que apresentam relevante papel na biogeoquímica dos principais gases do efeito estufa foram uma prioridade nas relações de colaboração científica franco-brasileira. A importância dos resultados obtidos incentivou um grupo de pesquisadores do IRD e os parceiros brasileiros a estabelecer um grande projeto sobre a história amazônica no passado. Esses estudos evoluíram para um melhor conhecimento do clima regional e das mudanças para uma abordagem de comparação de modelos de dados, em escala regional. Nessa evolução, os estudos incluíram progressivamente, a participação de outras instituições que trabalham com modelos acoplados clima-oceano no passado. Ao todo, esses projetos proporcionaram a oportunidade de formar mais de trinta alunos brasileiros de mestrado e doutorado e resultaram em uma densa produção científica. O sucesso desses projetos e o desejo expresso por nossos parceiros brasileiros de continuar e desenvolver ainda mais esta cooperação frutífera com o interesse de integrar outros parceiros sul-americanos (no Peru e Bolívia), reforçando nossa colaboração dentro de várias cooperativas (projetos nacionais e internacionais (IRD-CNPq, LMI, INCTs, ANR)), com o objetivo de reconstruir a história da Amazônia.

Diferentes áreas geográficas que compreendem o bioma amazônica foram estudadas, considerando áreas de extremos climáticos de grande precipitação, áreas de transição climática/ecológica e áreas de inundação sob influência de rios de água branca, preta e clara incorporando as nuances da grande variabilidade ecossistêmica do bioma amazônico. A escolha dos sítios de estudos sempre foi baseada em características ecológica, climatológica e geomorfológicas usando sistemas de informação geográfica. Os registros paleoclimatológicos (testemunhos) foram coletados em lagos, várzeas e turfeiras usando a metodologia de sondagem de sedimentos lacustres. As amostras armazenadas em câmaras frias são amostradas transversalmente segundo as diferenças nas características do sedimento e considerado a melhor resolução possível. As idades das diferentes variações consideradas são calculadas pelo método do radiocarbono. Outras medidas de parâmetros físicos, químicos e biológicos são obtidas nas amostras coletadas dos testemunhos.

Paralelamente, foram iniciados a partir dos anos 2000 estudos sobre espeleotemas para reconstruir a hidroclimatologia. Os espeleotemas são concreções encontradas em cavernas (por exemplo, estalagmites e estalagmites), que por meio de medidas isotópicas podem ser usadas para caracterizar a precipitação que percolou e deu origem à concreção.

Aliados a estes estudos locais e para uma melhor interpretação regional do clima e do ambiente foram desenvolvidas ferramentas matemáticas e modelagem baseado numa abordagem dados/modelos. Buscando entender o significado ambiental destes proxies paleoclimáticos foram usadas metodologias de observação de sensoriamento remoto e de sistema de informação geográfica (SIG).



Sondagem na várzea de Curuai.

Os principais resultados dos estudos e modelagem do lago

Estudos dos lagos da Serra do Carajás na Amazônia Oriental

Os eventos erosivos e de mudanças do nível do lago determinados por dados geoquímicos indicaram períodos de degradação da vegetação, principalmente entre 25.000 a 15.000 anos cal AP (Antes do Presente). O Último Máximo Glacial (com temperaturas 5-7 graus mais baixas nos trópicos) entre cerca de 20.000 e 18.000 anos cal AP. (Maximo Glacial), é representado por uma ausência de sedimentação indicativo de climas mais secos durante a era glacial do Pleistoceno. Entre 8000-4000 anos cal AP, indicadores de queimada confirmaram um grande evento de seca e intensos distúrbios ecossistêmicos associados que podem ter interconexão com distúrbios do ciclo do carbono a partir de 7000 anos AP, determinado pelo aumento do CO² registrados em perfis de gelo na Antártica.

O registro sedimentar do Lago Saci, Amazonas do Sul

A interação dos registros palinológicos com os registros geoquímicos indicou mudanças desde 35.000 anos cal AP, nesta área ao qual hoje se apresenta como uma área de transição Floresta/Cerrado. Assim como observado na Amazônia Oriental a floresta tropical apresentou períodos de expansão e regressão relacionados a um clima mais seco e frio entre 35.000 e 18.200 anos cal AP e uma mudança para condições mais quentes e úmidas entre 9.200 e 7.500 anos cal AP. Entre 7.500 a 5.000 anos cal AP, foi analogamente observado, como na Amazônia Oriental ocorrência de fase seca que afetou a distribuição da floresta tropical. Um retorno de condições mais úmidas favoreceu um aumento do nível lacustre e simultaneamente da floresta tropical após 5.000 anos cal AP.

Na Amazônia Ocidental, no Morro dos Seis Lagos, agora a parte mais úmida da Amazônia brasileira

Neste ambiente a fisionomia florestal não há se alterado durante os últimos 60.000 anos. Entretanto dados geoquímicos a partir da integração de registros sedimentares coletados em diferentes expedições científicas ao Morro dos Seis Lagos, em especial à Lagoa da Pata (São Gabriel da Cachoeira, AM) indicaram diminuição de precipitações durante o glacial e fase seca do holoceno médio sem que tivesse havido mudanças profundas da vegetação.

O que dizem os resultados dos modelos climático-oceânicos acoplados desenvolvidos com a Universidade de São Paulo?

Estes modelos permitiram compilar 120 conjuntos de dados paleoclimatológicos, que foram publicados em 84 artigos diferentes. Os paleodados aqui analisados sugerem um cenário de déficit hídrico na maior parte do leste da América do Sul durante o Holoceno médio se comparado ao Holoceno tardio, com exceção do Nordeste do Brasil.

Os resultados obtidos no âmbito da LMI Paleotracas, a partir de 2008

O grupo focou nos estudos dos últimos 2000 anos usando vários registros lacustres no Brasil e Peru para a reconstrução em alta resolução das mudanças ambientais na Amazônia. As reconstruções da história climática da Amazônia durante este período indicam um enfraquecimento da circulação do sistema



Vista da região superior do Morro dos Seis Lagos onde observa-se um dos Seis Lagos situados em depressões cársticas desta formação.

de monções da América do Sul durante a anomalia climática medieval, que foi um período de clima excepcionalmente quente nas regiões do Atlântico Norte, ao qual pode ter correspondência com eventos de queimada de larga escala, em contraponto a pequena idade do gelo 12 globalmente mais fria.

O que dizem os registros de carvões em solos e sedimentos?

As primeiras observações sobre a ocorrência de grandes eventos de incêndios relacionados a mudanças paleoclimáticas foi realizada ao observar grande quantidade de carvões em perfis de solo na região da transamazônica entre 6.000-3.000 anos A.P. Os carvões recolhidos e datados em solos bem como em registros sedimentares indicam incêndios florestais que foram responsáveis por um forte impacto em grandes áreas florestais e evidentemente sobre o ciclo do carbono global.

Acoplamento dos dados paleoclimáticos com a perspectiva sobre o ciclo do carbono foram trazidos a luz da comunidade científica, através de dados sedimentológicos e palinológicos respectivamente ao qual estimaram profundas mudanças de biomassa nos sistemas florestais amazônicos desde o Último Máximo Glacial. As mudanças nas taxas de acúmulo de partículas carbonizadas revelaram que os eventos de perturbação relacionados às mudanças no uso do solo superam em ordens de grandeza, as mudanças ambientais causadas por eventos climáticos naturais, especialmente e acentuadamente no final do Holoceno, quando a vegetação florestal atingiu um pico de biomassa e a presença humana se mostrou importante.

Variabilidade climática, o bioma Amazônia e o ciclo do carbono

Os estudos do grupo Hibam (ver capítulo 1) buscam utilizar as informações do presente (hidrológica, climatológica, geoquímica e geomorfológica) para investigar fatos do passado dentro de uma janela de tempo que compreende sobretudo o Holoceno. Essas informações estão sendo associadas a dados paleoclimáticos gerados a partir de testemunhos sedimentares. Durante a fase seca do Holoceno Médio, os lagos de várzeas encontravam-se isolados do canal principal do rio provocando aumento da acumulação de carbono. Contrariamente durante a fase úmido do Holoceno Superior a acumulação de carbono nestes sistemas deposicionais foi reduzida devido ao intenso aporte de material transportado pelo rio diluindo a acumulo do carbono.

Quais são as perspectivas?

Nos trabalhos desenvolvidos ao longo dos anos conseguiu-se compreender as variabilidades climáticas e seus impactos sobre os sistemas florestais amazônicos. A dimensão humana foi acoplada em estudos sobre registros recentes em áreas de intensa mudança do uso da terra demonstrando o profundo impacto da ação humana em relação aos eventos naturais.

Hoje em dia, estas perspectivas levantadas trazem perguntas-chaves para futuro em relação ao papel da floresta sobre o clima tais como: o que temos a aprender com as secas do Holoceno em relação ao aquecimento global atual? Quais são as forças naturais e antrópicas para o futuro que podem

determinar profundas mudanças ecossistêmicas e como manejar os sistemas florestais para que mantenha serviços ecossistêmicos de valor inestimáveis para o globo tais como: captura de carbono, manutenção da umidade atmosférica e transferência de calor?

Para mais informações

ANHUF D. *et al.*, 2006 – Paleo-Environmental Change in Amazonian and Africa Rainforest during the LGM, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 239 : 510-527. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.01.017>

CAMPELLO R.-C *et al.*, 2014 – Palaeofires in Amazon: Interplay between land use change and palaeoclimatic events. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 415 : 137-151. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.07.020>

FONTES D. *et al.*, 2017 – Paleoenvironmental dynamics in South Amazonia, Brazil, during the last 35,000 years inferred from pollen and geochemical records of Lago do Saci. *Quaternary Sciences Review*, 173 : 161-180. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.08.021>

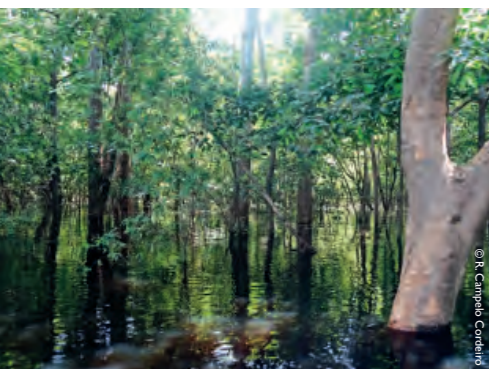
MARTINS G. S. *et al.*, 2022 – Late quaternary hydrological changes in the southeastern amazon basin from n-Alkane molecular and isotopic records in sediments of Saci lake, Para State (Brazil). *Global and Planetary Change*, 213 (103833). <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2022.103833>

SIFEDDINE A. *et al.*, 2001 – Variations of Amazonian Rain Forest environments: a sedimentological records covering 30, 000 years BP. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 168 : 221-235. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00256-X](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00256-X)

TURCQ B. *et al.*, 2002 – Accumulation of organic carbon in five Brazilian lakes during the Holocene. *Sedimentary Geology*, 148, 319-342. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00224-X](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00224-X)

Participaram das pesquisas

Renato Campelo Cordeiro (UFF), Abdel Sifeddine (IRD), Bruno Jean Turcq (IRD), Michel Servant (IRD), Louis Martin (IRD), François Soubies (IRD), Jean-Marie Flexor (COGE), Kenitiro Suguio (IG-USP), Jorge João Abrão (UFF), Patrícia Florio Moreira Turcq (IRD), Luciane Silva Moreira (UFF), Naziano Filizola (Ufam), Pascal Fraizy† (IRD), André Martinelli (IRD), Keila Cristina Pereira Aniceto (estudante de doutorado), Isabel Quintana Cobo (estudante de doutorado), Renata Lima da Costa (UFF), Heitor Evangelista (UERJ-Laramg), Ricardo Erthal Santelli (UFF/UFRJ), Francisco Fernando Lamego Simões Filho (UFC), Sambasiva Rao Pachinelam (UFF), Bastiaan Adriaan Knoppers (UFF), Luiz Drude de Lacerda (UFF), Marcelo Correa Bernardes (UFF), Arlei Oliveira da Silva (UFF), Renato de Aragão Rodrigues (UFF), Alice Bosco (UFF), Santos Gabriel Souza Martins (UFF), Juliana Nogueira (UFF), Libério Junio da Silva (UFF), Marcela Cardoso Guilles da Conceição (UFF), Yvaga Poty Penido (UFF), Daiana Fontes (UFF), Caroline dos Santos Rocha Maia (UFF), Josias Azeredo Barbosa (Inpi), Luiz Carlos Ruiz Pessenda (CENA-USP), Marie-Pierre Ledru (IRD), Hermann Behling (Universidade de Göttingen), Francisco William da Cruz Jr. (IG-USP), José Antônio Marengo (Cemaden), Nicolás Misaidilis Strikis (UFF), Pedro Leite da Silva Dias (IAG).



Ambiente da floresta inundada do arquipélago de Anavilhanas (Estado do Amazonas). Os processos de deposição em diferentes ambientes de planície de inundação são avaliados e quantificados.

Lista de autores

PARTE 1 **Monitorar as dinâmicas, entender os processos**

1 O Observatório HyBAm em grandes rios da Amazônia

William Santini, engenheiro hidrológico, UMR GET
Naziano Filizola, geólogo,
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Jean-Michel Martinez, hidrólogo, UMR GET
Jean-Loup Guyot, hidrólogo, UMR GET

2 Mensurar a diversidade florestal

Raphael Pélissier, ecólogo, UMR Amap
Eduardo Falconi, biólogo, IRD Representação Brasil
Frédérique Seyler, pedóloga, sensoriamento remoto,
UMR Espace-DEV

3 Monitorar o desmatamento e a degradação florestal

Laurent Polidori, sensoriamento remoto, geodésia,
Universidade Federal do Pará, UMR Cesbio, Brasil
Claudio Almeida, sensoriamento remoto,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

4 Os solos : da dinâmica das lateritas à degradação da terra e da biodiversidade

Thierry Desjardins, pedólogo, UMR IEES
Paulo Martins, agrônomo, Universidade Federal do Pará, Brasil
Frédérique Seyler, pedóloga, sensoriamento remoto,
UMR Espace-DEV

5 O papel essencial das várzeas no funcionamento do hidrossistema amazônico

Patrick Seyler, geoquímico, UMR HSM, emérito
Geraldo Boaventura, geoquímico,
Universidade de Brasília, Brasil

6 Ictiologia Amazônica

Marc Pouilly, ictiólogo, UMR Borea
Carlos Freitas, Universidade Federal do Amazonas, Brasil

7 Recursos hídricos e dados espaciais

Rodrigo Paiva, hidrólogo larga escala,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Fabrice Papa, hidrólogo, climatólogo, UMR Legos

PARTE 2 Interações global-local

8 O sistema estuarino amazônico

Fabien Durand, oceanógrafo, UMR Legos
Alice César Fassoni Andrade, hidróloga, pós-doutorando
Patrick Seyler, geoquímico, UMR HSM, emérito
Daniel Moreira, engenheiro cartográfico, hidrólogo,
geodésia, Serviço geológico do Brasil
Pieter van Beek, geoquímico, UMR Legos

9 O sistema costeiro da Amazônia

Jean-François Faure, geógrafo, UMR Espace-DEV
Maria Teresa Prost, geomorfóloga,
Museu Paraense Emílio Goeldi, Brasil

10 Processos físicos na foz do Amazonas

Ariane Koch Larouy, oceanógrafa, UMR Legos
Flavia Lucena Fredou, ecóloga,
Universidade Federal Rural do Pernambuco, Brasil
Moacyr Araujo, oceanógrafo, climatólogo,
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Arnaud Bertrand, ecólogo, UMR Marbec

11 Climas do passado

Renato Campelo Cordeiro, geoquímico,
Universidade Federal Fluminense, Brasil
Abdel Sifeddine, climatólogo, UMR Locean

12 Climas atuais

Josyane Ronchail, geógrafa, UMR LOCEAN
Jhan Carlo Espinoza, agrônomo, UMR IGE

PARTE 3 Povos indígenas, populações locais e o ecossistema

13 Um observatório socioambiental na Amazônia, o INCT Odisseia

Marie-Paule Bonnet, hidróloga modeladora,
UMR Espace-DEV

14 Reconfigurações dos padrões de vida e dinâmicas territoriais

Stéphanie Nasuti, antropóloga,
Universidade de Brasília, Brasil

15 Plantas cultivadas: produção e conservação da diversidade

Mauro Almeida, sócio-antropólogo, Professor colaborador,
Universidade Estadual de Campinas, Brasil
Laure Emperaire, etnobotânica, UMR PALOC, emérita

16 O sistema alimentar

Esther Katz, antropóloga, UMR Paloc
Lucia Van Velthem, antropóloga,
Museu Paraense Emílio Goeldi, Brasil

17 Biodiversidade espontânea nos agrossistemas: plantas silvestres úteis e plantas invasoras

Izildinha Miranda, ecóloga,
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
Danielle Mitja, botânica, UMR Espace-DEV

18 Desmatamento, garimpo e mercúrio

Jérémie Garnier, geoquímico,
Universidade de Brasília, Brasil

Patrick Seyler, geoquímico, UMR HSM, emérito

**19 Meio ambiente e saúde na Amazônia,
uma abordagem de saúde única**

Emmanuel Roux, matemático, UMR Espace-DEV

Helen Gurgel, geógrafa,
Universidade de Brasília, Brasil

TRAJETÓRIAS DE PESQUISA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

O IRD _____
e seus parceiros

IRD Éditions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Marseille, 2022

Coordenação editorial

Frédérique Seyler

Preparação editorial

Sabrina Milani

Design do modelo

Charlotte Devanz

Layout

Aline Lugand – Gris Souris

Maíra Zannon – Ilha Design

A menos que de outra forma indicado, todas as fotos deste livro são oriundas da base fotográfica do IRD Multimedia (<https://multimedia.ird.fr/>).

Foto de capa

Pupunha, fruta da palmeira *Bactris gasipaes*, Amazônia brasileira

© IRD/Laure Empeaire



Esta publicação de livre acesso é colocada à disposição do público nos termos da Creative Commons CC BY-NCND 4.0 licença, disponível em: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>. Autoriza qualquer distribuição do trabalho original (compartilhar, copiar, reproduzir, distribuir, comunicar), desde que os autores e editores sejam mencionados e um link para a licença CC By-NC-ND 4.0 está incluído. Nenhuma modificação é permitida e o trabalho deve ser distribuído em sua totalidade. Nenhuma utilização comercial é permitida.

© IRD, 2022

ISBN papel: 978-2-7099-2968-4

ISBN PDF: 978-2-7099-2968-1

ISBN epub: 978-2-7099-2970-7

COMITÊ CIENTÍFICO

Frédérique Seyler

Marie-Pierre Ledru

Laure Empeaire

Assistente de Redação

Eduardo Falconi



Apoio à esta publicação: Embaixada da França no Brasil