

RECONSTITUIÇÕES DA VEGETAÇÃO E INFERÊNCIAS DE PALEOCLIMAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DOS INDICADORES FITÓLITOS E ISÓTOPOS DE CARBONO – EXEMPLOS DE ESTUDOS NO BRASIL

Heloisa Helena Gomes Coe
Universidade do Estado do Rio De Janeiro - UERJ
heloisacoe@yahoo.com

Karina Ferreira Chueng
Universidade do Estado do Rio De Janeiro - UERJ
kah.uerj@hotmail.com,

Jenifer Garcia Gomes
Universidade do Estado do Rio De Janeiro - UERJ
jenifergg16@hotmail.com

EIXO TEMÁTICO: BIOGEOGRAFIA E BIODIVERSIDADE

Resumo

A compreensão de grande parte das formações vegetais primárias do Brasil necessita muitas vezes de estudos paleoambientais. Este trabalho apresenta dois estudos realizados em áreas do Estado do Rio de Janeiro e um em Minas Gerais, onde estão sendo feitas reconstituições da vegetação e inferência de paleoclimas utilizando como indicadores os fitólitos e os isótopos de Carbono. Fitólitos são partículas microscópicas de sílica que se formam como resultado da absorção pelas raízes das plantas de ácido silícico da solução do solo, precipitando-se depois, principalmente pela transpiração do vegetal, no interior ou entre as células vegetais. Estas partículas são importantes microfósseis, apresentando configurações típicas da vegetação de origem, já que a forma do fitólito recorda como um “molde” a célula vegetal em que foi formado. Os isótopos estáveis de Carbono são utilizados em estudos ambientais devido ao fato de que a composição isotópica varia de forma previsível conforme o elemento se move através dos diversos compartimentos de um ecossistema. Nas plantas, há a discriminação dos isótopos do carbono nos processos biológicos do ciclo da fotossíntese, com um fracionamento constante para as de mesmo ciclo fotossintético. A razão entre os isótopos estáveis de carbono pode indicar que tipo de vegetal deu origem ao material estudado, complementando de maneira eficaz os resultados das análises fitolíticas.

Palavras-chaves: Fitólitos, Isótopos de Carbono, Reconstituições da Vegetação, Mudanças Climáticas

Abstract

The comprehension of most of Brazilian primary vegetation often requires paleoenvironmental studies. This paper presents two studies in areas of the state of Rio de Janeiro and one in Minas Gerais, where reconstructions of vegetation and paleoclimate inference are being made, using phytoliths and isotopes of carbon as proxies. Phytoliths are microscopic particles of silica formed as a result of absorption of silicic acid in the soil solution by plant roots, precipitating later, mainly by transpiration of plants, within or between plant cells. These particles are important microfossils, with typical configurations of the vegetation source, since the shape of the phytolith remembers as a "model" the plant cell where it was formed. Carbon isotopes are used in environmental studies due to the fact that the isotopic composition varies in a predictable way as the element moves through the various compartments of an ecosystem. In plants, there is discrimination of carbon isotopes in the biological processes of photosynthesis cycle, with a constant fractionation for the same cycle of photosynthesis. The ratio between the stable carbon isotopes can indicate which sort of plant originated the studied material, complementing efficiently the results of phytoliths analysis.

Key-words: Phytoliths, Carbon Isotopes, Vegetation Reconstitutions, Climate changes

Introdução

Grande parte das formações vegetais primárias do Brasil não pode ser explicada apenas pelas atuais condições climáticas e edáficas, sendo por vezes necessários estudos paleoambientais para compreendê-las. Apresentaremos estudos realizados em algumas áreas do Estado do Rio de Janeiro e de Minas Gerais, utilizando como indicadores os fitólitos e os isótopos de Carbono, importantes instrumentos para a reconstrução da vegetação e inferência de paleoclimas.

Fitólitos são partículas de opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) microscópicas (<60-100 μm) que se formam como resultado da absorção pelas raízes das plantas de ácido silícico [$\text{Si}(\text{OH})_4$] da solução do solo, polimerizando-se e solidificando-se depois, principalmente pela transpiração do vegetal nos tecidos epidérmicos e vasculares das plantas (Piperno, 1988), sendo bem preservadas em solos e paleossolos. Estes corpos sólidos na planta terminam se incorporando ao solo com a senescência, queda e adição dos restos vegetais, onde permanecem por muito tempo, predominantemente na forma de pequenas partículas do tamanho de areia fina e silte. São bastante estáveis, já que resistem bem aos ataques químicos e biológicos em ambientes onde o material orgânico não se preserva bem, podendo tornar-se importantes microfósseis, uma vez que apresentam configurações típicas da vegetação de origem. A forma do fitólito recorda como um “molde” a célula vegetal em que foi formado. Várias são as aplicações das análises fitolíticas em estudos ambientais. No campo da Botânica e Paleoecologia servem para documentação e reconstrução da biodiversidade, através da verificação da similaridade dos fitólitos do solo com os da vegetação típica de formações preservadas e para reconstrução ambiental, já que fitólitos são indicadores confiáveis da vegetação natural e das plantas cultivadas. Por se preservarem bem sob condições oxidantes, como nos solos, muitas vezes, em áreas desprovidas de lagos ou turfeiras para coleta de testemunhos, os fitólitos são bons indicadores para estudos paleoambientais. Também são utilizados em estudos de Pedologia e Agronomia (por exemplo, análise da distribuição de fitólitos em perfis de solo atuais e em horizontes enterrados) em Geoquímica Ambiental (por exemplo, sequestro de minerais pesados) e Arqueologia.

Os isótopos estáveis de Carbono, bem como os de outros elementos químicos, ocorrem naturalmente na atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera (Pessenda *et al.*, 2005). Existem átomos do mesmo elemento com massa diferente. Cada elemento tem um isótopo dominante “leve” (no caso do Carbono o ^{12}C) e um ou mais isótopos “pesados” (^{13}C). Nas plantas, há a discriminação dos isótopos do carbono nos processos biológicos do ciclo da fotossíntese (Berrier e Prosser, 1996). O uso de isótopos estáveis em estudos ambientais baseia-se no fato de que a composição isotópica varia de uma forma previsível, conforme o elemento se move através dos diversos compartimentos de um ecossistema.

Em termos isotópicos, quando as plantas fazem fotossíntese, por razões de diferença de massa

entre os isótopos, discriminam o mais pesado em favor do isótopo mais leve. Assim, as plantas tendem a ficar isotopicamente mais leves em relação à atmosfera. Este fracionamento é constante para as plantas de um mesmo ciclo fotossintético. A razão entre os isótopos estáveis de carbono pode indicar que tipo de vegetal deu origem ao material estudado, uma vez que seus valores são resultado de como o produtor primário assimilou o CO₂, ou seja, a trajetória assimilatória utilizada e o isótopo preferencialmente assimilado (Killops e Killops, 2005).

Objetivos

Este estudo tem como objetivo apresentar alguns exemplos de aplicações das análises de fitólitos extraídos de perfis de solo combinadas a análises isotópicas de duas regiões litorâneas do Estado do Rio de Janeiro, a Região de Cabo Frio/Búzios e a Bacia do rio São João, e da região do Espinhaço Meridional, em Minas Gerais.

Base Teórica

Fitólitos

Algumas famílias de plantas produzem fitólitos morfologicamente distintos, como as dicotiledôneas lenhosas (*globular granulate* e *blocky*), as palmeiras (*globular echinate*), as ciperáceas (*cone shape*) e principalmente as Poaceae (gramíneas), que são as maiores produtoras e onde a distinção pode chegar ao nível de subfamília. A subfamília Panicoideae, característica de ambientes quentes e úmidos, produz principalmente fitólitos de tipo *bilobate*, *polylobate* e *cross*. A sub-família Chloridoideae, característica de ambientes quentes e secos, produz principalmente fitólitos de tipo *saddle*, enquanto a sub-família Pooideae, característica de regiões temperadas, frias e altas elevações intertropicais, produz principalmente fitólitos de tipo *rondel*. Alguns fitólitos são característicos das Poaceae, sem que se possa distinguir de qual sub-família provém, como os que são produzidos nas células buliformes (*bulliform cuneiform*), nas células longas (*elongate*) ou nos pelos (*acicular*) (Figura 01).

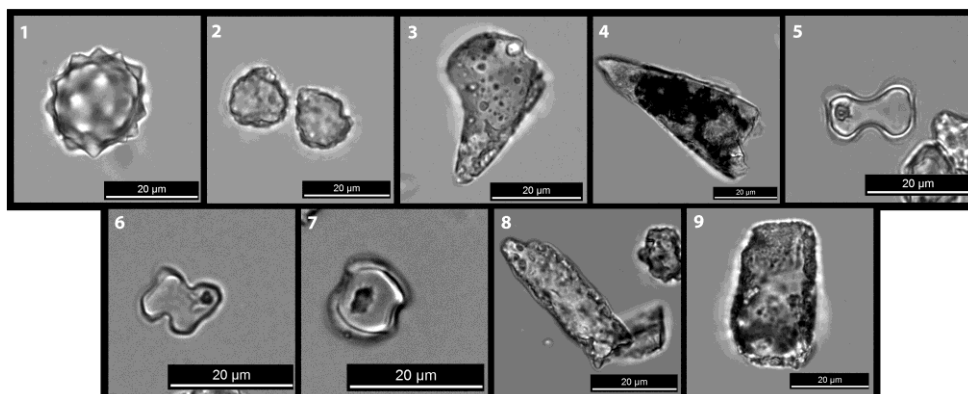


Figura 01: Alguns tipos distintivos de fitólitos: 1) *globular echinate*; 2) *globular granulate*; 3) *bulliform cuneiform*; 4) *acicular*; 5) *bilobate*; 6) *cross*; 7) *saddle*; 8) *elongate*; 9) *blocky*

(Organização: Heloisa Coe, 2012).

A análise de uma assembléia fitolítica permite caracterizar uma formação vegetal. Estudam-se assembléias modernas e fósseis, calculam-se índices fitolíticos, verificando-se se as sequências fitolíticas nos solos, resultantes dos processos de acumulação e/ou erosão, de translocação e de dissolução, mostram um aumento da idade média das partículas com a profundidade e podem ser interpretadas em termos paleoambientais.

Os índices fitolíticos permitem inferir parâmetros de vegetação como a **densidade da cobertura arbórea (D/P)**, que mede a proporção de fitólitos de dicotiledôneas lenhosas (*globular granulate*) em relação aos fitólitos distintivos de Poaceae (*bulliform cuneiform + short cells + acicular*); a **densidade de palmeiras (Pa/P)**, onde se calcula a proporção de fitólitos de Arecaceae (*globular echinate*) em relação aos fitólitos distintivos de Poaceae (*bulliform cuneiform + short cells + acicular*); o **índice de aridez (Iph)**, que calcula a proporção de fitólitos de gramíneas C4, de ambientes quentes e áridos (*saddle*), ou C3, de ambientes quentes e úmidos (*cross + bilobate*); o **índice climático (Ic)**, que indica a adaptação da formação vegetal a uma temperatura mínima e/ou à pressão parcial de Dióxido de Carbono (pCO₂) forte (zonas de altitude) calculando-se a abundância relativa de gramíneas temperadas C3 (*rondel + trapeziform polylobate + trapeziform short cell*) em relação a gramíneas quentes C4 (*saddle + cross + bilobate short cell*) e o **índice de estresse hídrico (Bi)**, que calcula a proporção de fitólitos de células buliformes (*bulliform cuneiform*) em relação aos fitólitos distintivos de Poaceae (*bulliform cuneiform + short cells + acicular*).

Calibrações entre assembléias fitolíticas, fisionomia das vegetações e limites climáticos mostram que os fitólitos são marcadores fiáveis e precisos das vegetações intertropicais e principalmente das diferentes formações herbáceas. A diversidade das formações herbáceas tropicais é o reflexo de uma diversidade climática, edáfica e antrópica que podem ser melhor compreendidas através das reconstituições fitolíticas (Bremond *et al.*, 2005). Seu estudo é útil para se compreender a evolução de uma vegetação em relação com condições bioclimáticas.

Isótopos de Carbono

A composição isotópica do Carbono é comumente expressa pela relação entre a concentração de átomos de ¹³C sobre a concentração de átomos de ¹²C presentes em uma amostra qualquer. Essa relação, muito pequena, é expressa em partes por mil (‰), e definida pela equação: $\delta^{13}\text{C} = (\text{RAmostra} - \text{RPadrão}) / \text{RPadrão} * 100$, onde RAmostra é a relação isotópica ¹³C / ¹²C da amostra e RPadrão é a relação isotópica ¹³C / ¹²C do padrão.

A análise $\delta^{13}\text{C}$ da Matéria Orgânica do Solo (MOS) possibilita a identificação da formação vegetal que a originou como do tipo C3 (na maioria árvores) ou C4 (na maioria gramíneas). Diferentes mecanismos de assimilação do carbono permitem a distinção das fontes de MO, através da avaliação dos sinais obtidos para a composição isotópica do carbono.

De uma maneira geral, **plantas C3**, representadas pela maioria das plantas lenhosas (vegetação

arbórea e arbustiva), assimilam CO_2 através do ciclo de Calvin-Benson, apresentando valores $\delta^{13}\text{C}$ que variam de **-32 a -22‰**, com uma média de -27‰, uma vez que assimilam preferencialmente moléculas do isótopo ^{12}C . **Gramíneas C4** utilizam o ciclo de Hatch-Slack e apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ que variam de **-9 a -17‰**, com uma média de -13‰. Existem ainda **plantas CAM** (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), como as Crassulaceae, Euphorbiaceae, Orchidaceae, Bromeliaceae e Cactaceae, que apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ de **-10 a -28‰** (CAM facultativas), sendo que para algumas espécies CAM obrigatórias os valores isotópicos foram comparáveis aos de plantas C4 (Boutton, 1996). O fitoplâncton, que utiliza o carbonato dissolvido na água para realizar a fotossíntese, apresenta valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximos a -20‰ (Gleixner *et al.*, 2002; Gordon e Goñi, 2003; Killops e Killops, 2005) (**Figura 02**).

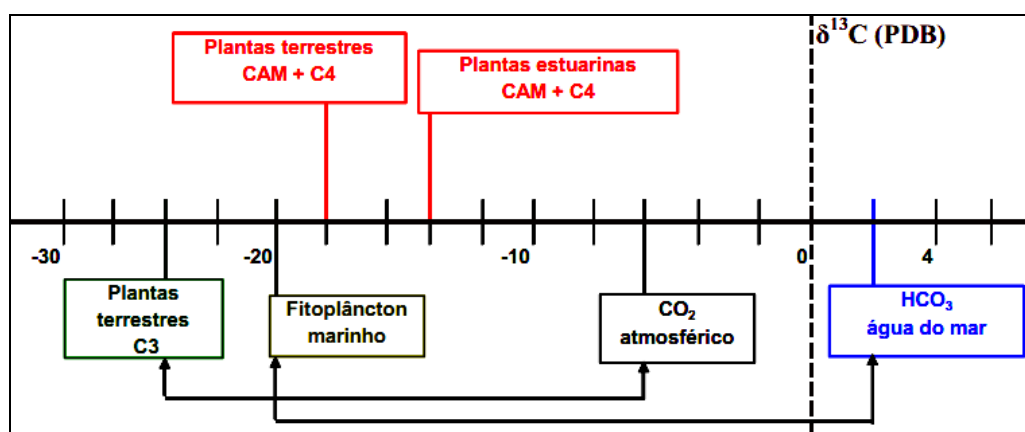


Figura 02: Fontes de CO_2 e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ para diversos tipos de vegetais (Organização: Heloisa Coe, 2009, modificado de Libes, 1992)

Material e Método

Em todos os exemplos de estudos apresentados foram realizadas as seguintes atividades:

- 1) Trabalhos de campo para coleta de amostras de solo, sedimentos e plantas para a realização de análises isotópicas e datação por ^{14}C AMS;
- 2) Análises físico-químicas e orgânicas do material coletado;
- 3) As análises elementares e isotópicas dos solos e plantas foram realizadas pelo Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/USP, através de um analisador elementar Carlo Erba modelo EA 1110, acoplado a um espectrômetro de massa, com um limite de detecção de 0,03%;
- 4) As análises fitolíticas: os fitólitos foram extraídos, a partir de 20g de solo seco, da fração 2 a 50 μm , após a dissolução dos carbonatos, a oxidação total da matéria orgânica, remoção dos óxidos de ferro, separação granulométrica e separação densimétrica (2,35). Em seguida é feita a identificação e contagem das assembléias de fitólitos presentes em cada amostra em microscópio óptico com aumento de 600x. São contados pelo menos 200 fitólitos de diâmetro superior a 5 μm e com significado taxonômico (classificados). São também contados os fitólitos sem significância taxonômica (não-

classificados) devido a sua forma original ou subsequente dissolução ou fragmentação. As assembleias são apresentadas como porcentagens do total de fitólitos classificados. Segue-se a classificação de Twiss et al. (1969) e Twiss (1992), aumentada por Mulholland (1989), Fredlund & Tiezen (1994), Kondo et al. (1994), Alexandre et al. (1997), Barboni et al. (1999) e Runge (1999) (apud Coe, 2009), de acordo com o ICPN (International Code for Phytolith Nomenclature 1.0). Após a contagem, são calculados os índices fitolíticos D/P, Pa/P, Bi, Iph e Ic;

5) As datações por ^{14}C AMS da Matéria Orgânica do Solo (MOS) das amostras da região de Cabo Frio foram feitas na Universidade de Irvine, Califórnia. As demais estão sendo realizadas nos laboratórios do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense.

Resultados e Discussões

1- Região de Cabo Frio/Búzios

A região de Cabo Frio apresenta um clima mais seco que o restante do litoral fluminense, o que determina um panorama peculiar em termos de cobertura vegetal: é considerada como um “enclave fitogeográfico”, reduto de vegetação com fisionomia semelhante à da caatinga (Ab’Saber, 2003), dominada por florestas xeromórficas, rodeadas por florestas úmidas da Mata Atlântica. Esta região foi considerada como um testemunho paleoclimático do clima seco e frio do último Período do Quaternário (Ab’Saber, 1977). O estudo teve como objetivo auxiliar na reconstituição paleoambiental da região, onde pesquisas vinham sendo feitas através de análises de testemunhos oceânicos e lagunares, existindo ainda grandes lacunas na parte continental, devido à falta de indicadores de vegetação que se preservem bem em ambiente oxidante, já que a região carece de lagos adequados à coleta de testemunhos para, por exemplo, análises polínicas.

Foram analisadas amostras dos diferentes horizontes de quatro perfis de solo sob vegetação xeromórfica, além de horizontes superficiais de quatro tipos atuais de cobertura vegetal na região que serviram como assembleias modernas de referência. As amostras foram submetidas a análises pedológicas e micromorfológicas. Quantificou-se a abundância e o grau de alteração dos fitólitos, e calcularam-se índices fitolíticos indicadores da densidade da cobertura arbórea (D/P) e de palmeiras (Pa/P). Os resultados fitolíticos foram comparados com os de análises da matéria orgânica elementar, de $\delta^{13}\text{C}$ e de ligninas. Amostras da matéria orgânica do solo de quase todos os horizontes foram datadas por ^{14}C -AMS. As análises fitolíticas, corroboradas por observações de campo, análises pedológicas e micromorfológicas, identificaram em três perfis descontinuidades litológicas advindas de fases de erosão/deposição (**Figura 03**).

No outro perfil, foi registrada abundância de palmeiras, que hoje praticamente não são mais encontradas no local, cuja diminuição tem provavelmente origem antrópica, sendo então possível relacionar os resultados com o histórico de ocupação e degradação da região.

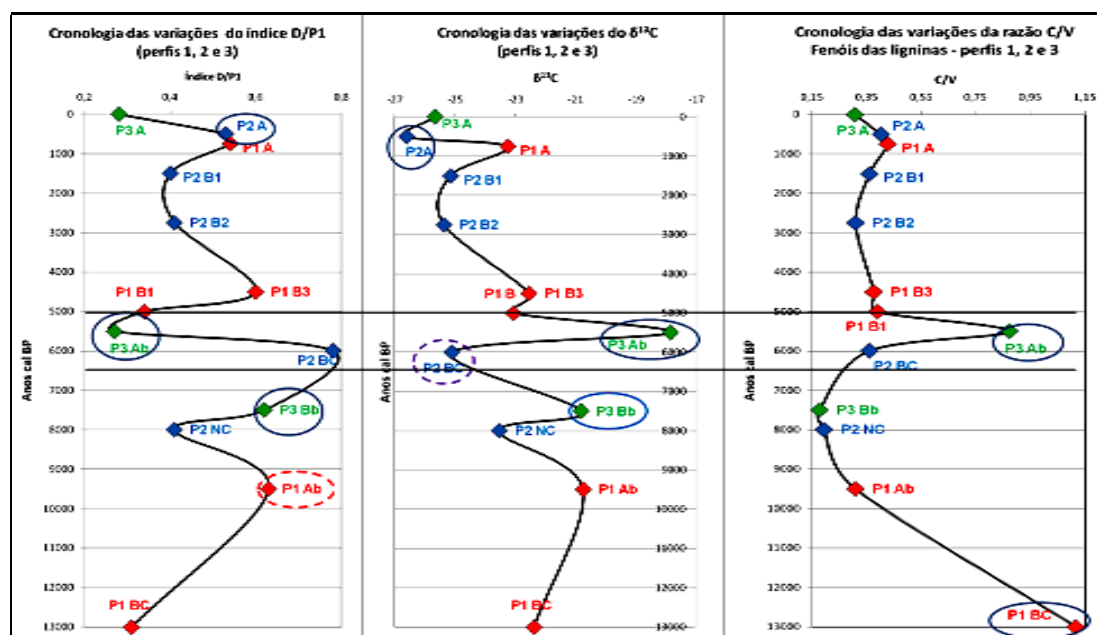


Figura 03: Cronologia das variações dos índices D/P, $\delta^{13}\text{C}$ e C/V dos perfis 1, 2 e 3, Búzios, RJ. Destaque para o período mais seco ocorrido entre 6000 e 5000 anos AP (Organização: Heloisa Coe, 2009).

As variações observadas em todos os perfis não indicam uma grande mudança no tipo de cobertura vegetal: a vegetação foi sempre de tipo pouco arbórea (floresta xeromórfica), sugerindo que, desde 13ka cal BP, a vegetação local nunca atingiu a densidade arbórea característica de florestas úmidas do resto do litoral. Estes registros mostraram-se coerentes, quando comparados com reconstruções da linha de costa e da intensidade da ressurgência local. Embora limitadas pela baixa resolução temporal, inerente às reconstruções a partir de solos, e pela falta de calibrações com datações de outros marcadores, as análises fitolíticas auxiliaram na reconstrução da história das florestas xeromórficas de Cabo Frio durante o Holoceno.

2- Bacia do Rio São João

O segundo exemplo apresentado é parte de um projeto de estudo de topossequências de solos e sua relação com a geomorfologia, geologia, cobertura vegetal, uso do solo, precipitação e qualidade das águas na bacia do rio São João, visando compreender a gênese desses solos e identificar mudanças ambientais na área, como subsídio no planejamento ambiental da bacia. Na bacia do rio São João, estão sendo analisadas amostras de quatro perfis de solo: um glei, um neossolo flúvico, um argissolo e um planossolo. Observações preliminares ao microscópio identificaram assembléias fitolíticas em todos os horizontes desses solos, com variações no teor em fitólitos e nos seus tipos de acordo com a origem do material onde ocorreu a pedogênese.

Solos com material de origem sedimentar apresentaram fitólitos muito misturados e em quantidade semelhante em todos os horizontes. No glei, foram observados como fitólitos predominantes o *bulliform*, *globular echinate* e o *point shape*. No neossolo flúvico predominaram os fitólitos *globular granulate*, *bilobate* e *bulliform*. Entre os solos desenvolvidos a partir do material

parental, no argissolo há predomínio de determinados tipos como o *bulliform* e o *globular granulate* e o teor em fitólitos diminui com a profundidade, segundo o padrão normal de distribuição; no planossolo, os fitólitos são carreados dos horizontes orgânico e eluvial e se concentram no horizonte textural, apresentando predominantemente os tipos *bulliform* e *elongate* (**Figura 05**).

As análises isotópicas das amostras de solo e das sete amostras dos principais tipos de cobertura vegetal da bacia são apresentadas na **Tabela 01**.

Os horizontes A dos perfis 1, 2 e 3 apresentaram valores ^{13}C típicos de mistura de vegetação com predomínio de vegetação aberta. Corresponde à vegetação atual de todos os perfis (áreas de pasto). Os fitólitos predominantes nos horizontes A dos perfis 1 e 2 são de gramíneas. No perfil 3 há predomínio de fitólitos de espécies lenhosas, mas com presença também de gramíneas. Entre os três perfis este é o menos enriquecido em ^{13}C . Os perfis 1, 2 e 3 se tornam mais empobrecidos em ^{13}C com a profundidade, indicando uma vegetação mais fechada, que poderia ser a original da região antes de ser transformada em pasto, como se pode observar em alguns fragmentos de mata nos topos dos morros próximos aos perfis. O perfil 4 apresenta resultados bem diferentes, com enriquecimento de ^{13}C em um horizonte mais profundo. Entretanto, isto pode ser explicado pelo tipo de solo, com presença de horizonte eluvial, de onde as partículas são carreadas e um horizonte textural, onde esse material se acumula. É justamente este horizonte que se apresenta enriquecido em ^{13}C , o que é confirmado pelas análises fitolíticas: os horizontes superiores quase não apresentam fitólitos enquanto que no Bt a concentração é grande e com predomínio de fitólitos de gramíneas (**Figura 06**).

Tabela 01. Dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) das Formações Vegetais Modernas e dos perfis de solo

Amostra	Tipo de Vegetação	Razão isotópica ($\delta^{13}\text{C}$)
FM1	Manguezal Languncunaria	-27,96
FM2	Brejo	-24,44
FM3	Gramíneas próximas à floresta	-24,79
FM4	Floresta	-29,05
FM5	Gramíneas Pasto	-18,4
FM6	Manguezal Rizophora	-28,11
FM7	Floresta com Palmeiras	-29,24
Amostra de Solo	Profundidade (cm)	Razão isotópica ($\delta^{13}\text{C}$)
Perfil 1 Glei		
Horizonte A	10 – 20	-17,59
Horizonte C1	60 – 70	-24,49
Horizonte C2	95 – 105	-26,27
Horizonte C3	150	-27,61
Perfil 2 Argissolo		
Horizonte A	0-25	-18,73
Horizonte E	abaixo de 60	-24,26

Horizonte Bt		-25,18
Horizonte BC		-25,89
Perfil 3 Neossolo Flúvico		
Horizonte A	10 – 20	-19,86
Horizonte C4	56 – 72	-24,98
Horizonte C6	81 – 91	-25,05
Horizonte C7	91 – 100	-21,16
Perfil 4 Planossolo		
Horizonte A	05 – 15	-23,72
Horizonte E	35 – 45	-22,81
Horizonte Bt	80 – 90	-18,81
Horizonte 2Bt	140	-22,13

(Organização: Heloisa Coe, 2012).

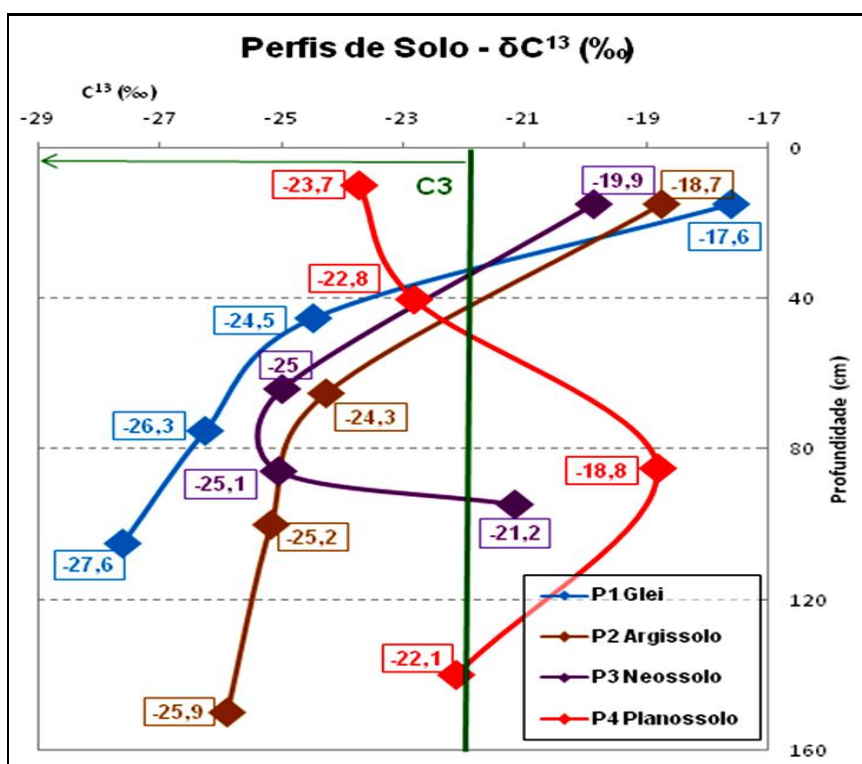


Figura 06: Dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) dos perfis de solo da Bacia do rio São João, RJ

(Organização: Heloisa Coe, 2012).

3- Serra do Espinhaço

O clima da Serra do Espinhaço é caracteristicamente mesotérmico brando, tipo Cwb (ou intertropical). Devido às altitudes elevadas, as temperaturas nos meses de verão são agradáveis (22-28°C) e o inverno apresenta-se pouco rigoroso (10-15°C). Embora classificada com uma vegetação predominantemente composta por campo rupestre, condicionado pelas características litológicas, pedológicas e climáticas, a vegetação local é, contudo, composta por uma grande diversidade de

aspectos fitofisionômicos. Segundo Medina (2004) na região são encontrados quatro tipos vegetacionais: (a) os campos rupestres, que surgem em áreas planas, acima de 1000m de altitude, com solos arenosos ou cascalhados, rasos, ácidos, pobres em nutrientes e matéria orgânica, entremeados por “bolsões mais úmidos”, formando brejos, que podem ser permanentes, nos quais aparecem turfeiras, ou periodicamente inundados. Nestes há ainda flora ripícola associada aos afloramentos rochosos; (b) campo cerrado, que aparece entre as cotas altimétricas de 800 a 1000m. Há dominância de formas herbácea arbustivas, podendo passar a campo sujo e rupestre; (c) as matas de galeria, que estariam associadas às linhas de drenagem; (d) os capões de mata, que estariam associados aos topos de morro e às encostas.

Foram coletadas amostras em cada horizonte de dois perfis de solo (um neossolo e um neossolo orgânico) localizados na Serra do Engenho e um perfil desenvolvido no interior de uma voçoroca localizada nas proximidades do Córrego dos Pereiras. A cobertura vegetal dos três perfis é predominantemente de gramíneas. Para servir como referência, também foram coletadas amostras superficiais de solo abaixo dos principais tipos de formações vegetais existentes atualmente na área de estudo, a saber: campo rupestre com árvores; campo rupestre com arnica; gramíneas; bosque; cerrado com palmeiras; campo sujo; mata ciliar; campo limpo e cerradão.

Os resultados das análises de isótopos de Carbono das amostras de solo e das nove formações vegetais modernas que predominam na região, são apresentados na **Tabela 02**.

Nos dois perfis de neossolo, os valores isotópicos nos dois horizontes mais superficiais indicam uma vegetação com predomínio de plantas C4, próximos aos encontrados nas Formações Modernas 2 (gramíneas) e 7 (campos limpos), confirmando a cobertura que se pode observar sobre os perfis atualmente. Os dois apresentam empobrecimento de ^{13}C com a profundidade, aproximando-se de valores com predomínio de plantas C3 (similares aos das Formações 1.1 e 1.2) nos horizontes mais profundos, podendo indicar uma maior umidade do clima na época em que tal horizonte foi formado. O Perfil 3 (voçoroca) apresentou resultados diferentes. O horizonte atual apresenta valores isotópicos indicativos de predomínio de plantas C3. O fato pode ser explicado porque, apesar da cobertura vegetal exatamente acima do perfil ser de gramíneas (FM2), muito próximo ao mesmo existe um bosque (FM3), que pode ter sido a cobertura original da área, antes do desenvolvimento da voçoroca e que deixa seus registros a cerca de 15 cm de profundidade. À medida que aumenta a profundidade os valores isotópicos ficam mais enriquecidos, indicando uma abertura da vegetação, que pode ser consequência de uma diminuição da umidade (**Figura 07**).

Tabela 02. Dados isotópicos ($\delta\text{‰}^{13}\text{C}$) das Formações Vegetais Modernas e dos perfis de solo

Amostra	Tipo de Vegetação	Razão isotópica ($\delta\text{‰}^{13}\text{C}$)
FM1.1	Campo Rupestre sob árvore	-23,6
FM1.2	Campo Rupestre sob arnica	-22,88

RECONSTITUIÇÕES DA VEGETAÇÃO E INFERÊNCIAS DE PALEOCLIMAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DOS INDICADORES FITÓLITOS E ISÓTOPOS DE CARBONO – EXEMPLOS DE ESTUDOS NO BRASIL

FM2	Gramíneas	-16,84
FM3	Bosque	-26,70
FM4	Cerrado sob Palmeiras	-24,95
FM15	Campo Sujo	-24,98
FM6	Mata Ciliar	-25,11
FM7	Campo Limpo	-20,30
FM8	Cerradão	-25,68
Amostra de Solo	Profundidade (cm)	Razão isotópica ($\delta\text{‰}^{13}\text{C}$)
Perfil 1		
Horizonte A1	0-30	-16,93
Horizonte A2	30-50	-19,00
Horizonte D	50-60	-19,07
Horizonte BC	abaixo de 60	-21,99
Perfil 2		
Horizonte A	0-25	-19,01
Horizonte Orgânico	25-45	-18,98
Horizonte BC	abaixo de 60	-22,83
Perfil 3 Voçoroca		
Horizonte A	0-30	-22,11
Horizonte B	30-45/50	-16,93
Horizonte C1	50-90	-17,37
Horizonte C2	90 a 200	-18,81

(Organização: Heloisa Coe, 2012).

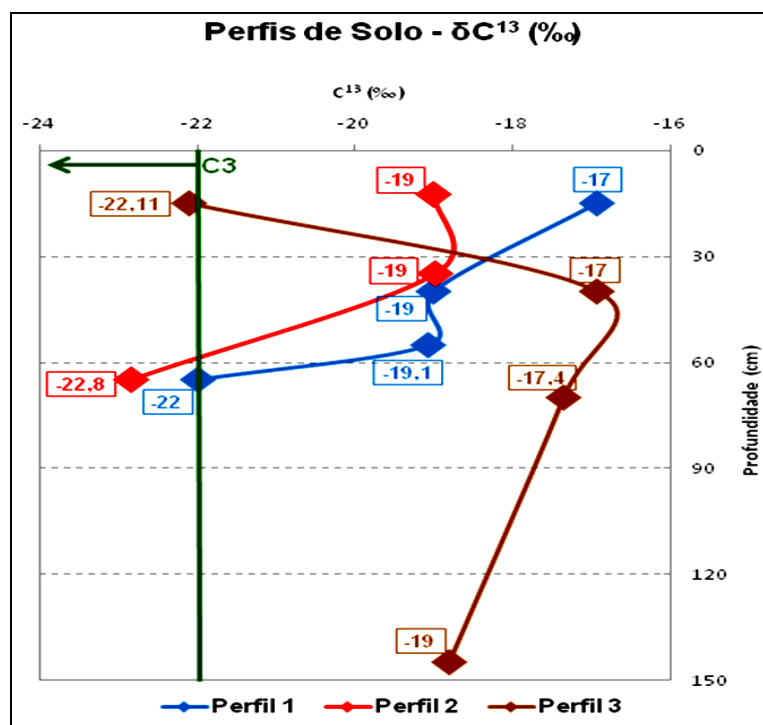


Figura 07: Dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) dos perfis de solo da Serra do Espinhaço, MG (Organização: Heloisa Coe, 2012).

CONCLUSÃO

Na Região de Cabo Frio, os resultados contribuem para a reconstituição paleoambiental na região, pois os fitólitos permitiram identificar, ao nível de detalhe, mudanças na densidade de cobertura arbórea. As variações observadas não indicam uma grande mudança no tipo de cobertura vegetal: a vegetação foi sempre de tipo pouco arbórea (floresta xeromórfica), sugerindo que, desde 13ka anos cal BP, a vegetação local nunca atingiu a densidade arbórea característica de florestas úmidas. Além disso, a quantificação dos estoques em fitólitos, bem como as variações dos índices fitolíticos ao longo dos perfis, permitiram a identificação, em três dos quatro perfis estudados, de descontinuidades litológicas, que foram posteriormente confirmadas por outras análises. No perfil que não apresentou estas descontinuidades, puderam ser observadas mudanças na cobertura vegetal numa escala de tempo “humana”, não geológica, revelando outra aplicação dos estudos fitolíticos na região: relacionar os resultados com o histórico de sua ocupação e degradação.

Na Bacia do rio São João, a pesquisa, ainda em andamento, trouxe resultados que, apesar de preliminares são promissores, pois indicam que os fitólitos são bons indicadores de mudanças ambientais e auxiliam na compreensão da gênese de solos. Não foi ainda realizada uma contagem detalhada dos fitólitos. Esta contagem, com o posterior cálculo de índices fitolíticos, sobretudo o D/P e Iph, poderá esclarecer se o aumento de plantas C3 indicado por valores menos enriquecidos em ^{13}C provém de plantas lenhosas ou de gramíneas C3.

Na Região do Espinhaço, os resultados ainda são preliminares, já que as análises fitolíticas

ainda se encontram em andamento. Entretanto, os resultados das análises isotópicas já indicam mudanças na cobertura vegetal, que podem ser confirmadas e refinadas com os resultados dos fitólitos. Os resultados se revelam promissores para a interpretação de mudanças nos processos geomorfológicos em função das condições climáticas.

Todos os exemplos apresentados ilustram a importância de estudos paleoambientais na compreensão da evolução e das mudanças ambientais de uma determinada região, bem como da necessidade de se utilizar o maior número possível de indicadores (análise *multiproxy*) para uma maior precisão na inferência dessas mudanças.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul por ocasião dos períodos glaciais quaternários.** Paleoclimas, v. 3, p. 1-19, 1977.

AB'SABER, A. N. **Redutos de cactáceas, jardins da natureza.** Scientific American Brasil, v. 19, dez. 2003.

BERRIER, A.; PROSSER, J. S. **Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry.** In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. I. (Ed.). Mass spectrometry of soils. New York: Marcel Dekker, p.1-17, 1996.

BREMOND, L. et al. **Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa.** Journal of Biogeography, v. 32, p. 311-327, 2005.

COE, H. H. G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios / Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário.** 2009. 300 p. Tese de Doutorado Lagamar, UFF, Niterói.

GLEIXNER, G. **Molecular dynamics of organic matter in a cultivated soil.** Organic Geochemistry, v. 3, p. 357-366, 2002.

GORDON, E. S.; GOÑI, M. A. **Sources and distribution of terrigenous organic matter delivered by the Atchafalaya River to sediments in the northern Gulf of Mexico.** Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 67, n. 13, 2003.

KILLOPS, S.; KILLOPS, V. **Introduction to organic geochemistry.** Malden, MA: Blackwell, 2005. 393 p.

LIBES, S. M. **An Introduction to Marine Biogeochemistry**. New York: John Wiley & Sons, 752 p, 1992.

MEDINA, B. M. O. 2004. **Potencial Regenerativo dos Solos da Serra do Cipó, MG**. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais. 61 p.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S.; FREITAS, H. Isótopos do carbono. In: PESSENDA, L. (Ed.). **Quaternário do Brasil**. São Paulo: USP, 2008. p.75-83.

PIPERNO, D. R.; PEARSALL, D. M. **The Silica Bodies of Tropical American Grasses: Morphology, Taxonomy and Implications for Grass Systematics and Fossil Phytolith Identification**. Smithsonian Contribution to Botany, v. 85, p. 1-40, 1998.