Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Bioturbação e distribuição de fitólitos em Latossolos da Depressão Periférica Paulista

Beatriz Motta Rodrigues

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2019

Beatriz Motta Rodrigues

Engenheira Florestal

Bioturbação e distribuição de fitólitos em Latossolos da Depressão Periférica Paulista

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PABLO VIDAL-TORRADO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Rodrigues, Beatriz Motta

Bioturbação e distribuição de fitólitos em Latossolos da Depressão Periférica Paulista/ Beatriz Motta Rodrigues. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

80 p. : il

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Reconstituição paleoambiental 2. Sílica biogênica 3. Remonte biológico I. Título

AGRADECIMENTOS

À Deus, autor e consumador da minha fé, a qual me ajudou a suportar todo o “intemperismo” nesses dois anos de mestrado.

À Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela oportunidade de me profissionalizar e me tornar mais competitiva ao mercado de trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudos e suporte financeiro.

Ao meu orientador professor Dr. Pablo Vidal-Torrado, pelos ensinamentos transferidos ao longo desses dois anos, pela liberdade na condução do projeto, pelas ideais de estudo, por toda a paciência (muitas vezes teve que tomar o papel de pai e me fazer enxergar as consequências dos meus atos), pelos momentos de descontração e principalmente pela amizade que construímos.

À minha orientadora e amiga professora Dra. Márcia R. Calegari, por ter me apresentado e ensinado com tanta destreza a análise fitolítica, pelas horas destinadas ao projeto, e ideias sobre o desenvolvimento do mesmo, e por todos os momentos de bolinhos e café.

Ao professor Dr. Miguel Cooper pela pelas instruções com a análise micromorfológica do trabalho, pela amizade, pelo apelido ao qual gosto tanto, e por todos os momentos alegres durante a disciplina de micromorfologia.

Aos professores do departamento de ciência do solo, em especial, professor Thiago, Antônio Carlos e Ado pela paciência que tiveram comigo nos momentos iniciais do mestrado, e por todo aprendizado nas disciplinas.

Aos técnicos, Dorival, Luiz Silva, Sônia, Nivanda, Néia, Chiquinho, Leandro e Rossi pelos ensinamentos das técnicas laboratoriais.

À Univerisade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOSTE, por ceder o Laboratório de Estudo de Dinâmicas Ambientais – LEDA, para extração e montagem de lâminas fitolíticas.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, em especial ao professor Dr. Plínio Camargo por realizar as análises isotópicas.

Aos meus amigos da “salinha” Bárbara, Taís, Daniela, Mariane, Karina, Sara, Murilo e Júlio, que diariamente convivemos por esses dois anos e por toda ajuda com o trabalho e problemas pessoais.

Aos amigos que já passaram pela “salinha”, em especial ao Gabriel, Rodrigo e aos agregados Lucão e Danilo, pelas horas discutindo questões da vida.

À minha amiga Anna Bárbara por todo o suporte concedido a mim desde o dia em que vim a Piracicaba pela primeira vez. Meus amigos de Mato Grosso, Tárcio e Mariely pela amizade, e por me socorrer aos domingos. Minhas amigas de casa, Thaís, Cátia e Vitória e a eterna vizinha GK, por todos os momentos de descontração. Minha grande amiga Nayana, por estar comigo desde o primeiro dia de aula.

Aos meus eternos supervisores, Alexandre Nascimento e Juberto Babilônia por terem acreditado no meu potencial.

À minha família que mesmo distante se fizeram presente pelas ligações diárias, sem vocês eu não teria conseguido.

Meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

RESUMO **7**
ABSTRACT **8**
1 INTRODUÇÃO **9**
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **12**
2.1 Latossolos: Atributos Gerais 12
2.2 Fitólitos: Definição, Formação E Aplicabilidades 14
2.2.1 Definição e formação dos fitólitos 14
2.2.2 Preservação da assembleia fitolitica nos solos 15
2.2.3 Aplicabilidade da análise fitolítica 16
2.3 Bioturbação: Definição E Principais Efeitos No Solo 18
3. MATERIAL E MÉTODOS **21**
3.1 Localização e características da área de estudo 21
3.2. Amostragem e Descrição dos Perfis 22
3.3. Análises físicas e químicas de rotina 23
3.3.1. Análise física – Granulometria 23
3.3.2. Análise química 23
3.4. Micromorfometria 24
3.4.1. Preparação de Lâminas Delgadas 24
3.4.2. Quantificação de feições biológicas 24
3.5 Análise isotópica (δ13C) e COT 25
3.6. Análise fitolítica 26
3.6.1. Extração 26
3.6.2. Contagem, identificação e classificação 27
3.6.3. Índices de assembleias de fitólitos modernos e fósseis 28
3.7. Análise estatística 28
4 RESULTADOS **29**
4.1 Atributos morfológicos, físicos e químicos do solo 29
4.2 Feições biológicas 33
4.3 Composição isotópica da MOS e COT (%) 34
4.4 Assembleia Fitolítica do Solo 36
4.5. Análise Multivariada 44
4.5.1. Análise de componentes principais - ACP 44

4.5.2. Análise Agrupamento Hieráquico- Cluster 46

4.6. Evolução das condições Ambientais e seu reflexo na vegetação e na assembleia de fitólitos nos solos 48

5 DISCUSSÃO **54**

5.1 Latossolos: Registro de Mudanças Ambientais na região de Piracicaba 54

5.2 Bioturbação atuando na distribuição de fitólitos 56

CONCLUSÕES **60**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **61**

APÊNDICE A – Descrições morfológicas dos perfis estudados na região de Piracicaba 70

APÊNDICE B - valores relativos (%) dos perfis estiudados na região de Piracicaba 75

RESUMO

Bioturbação e distribuição de fitólitos em Latossolos da Depressão Periférica Paulista

Latossolos são os solos mais representativos do Brasil, comumente associados a solos altamente intemperizados, profundos, e muito homogêneos. Essa homogeneização é atribuída ao processo de formação denominado bioturbação, que é a mistura de partículas do solo, inclusive fitólitos, que em condições tropicais são principalmente causadas pela ação de cupins, formigas, minhocas, e raízes de plantas. Os fitólitos são corpos de sílica opalina formados através da absorção do ácido monossilícico pelas raízes das plantas, que após a transpiração são polimerizados e tomam forma da célula ou tecido em que foram depositados. A análise fitolítica tem sido utilizada para reconstituições do clima, vegetação e ambientes pretéritos, pois sua composição (sílica biogênica) permite uma preservação nos solos, por longos períodos. Entretanto, as reconstituições paleoambientais realizadas em Latossolos têm sido contestadas devido à expressiva atividade biológica nesses solos, que podem 'pertubar' a assembleia fitolítica colocando em dúvida a validade da técnica. Considerando a hipótese de que a bioturbação não é um processo homogêneo em todo o perfil, o estudo objetivou compreender a influência da atividade biológica na distribuição de fitólitos em dois Latossolos de texturas contrastantes. Os resultados obtidos para as análises químicas e físicas classificaram os solos em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (Perfil 1), e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (Perfil 2). Neste trabalho não foram feitas datações, impossibilitando o estabelecimento da cronologia dos eventos, porém as análises isotópicas e fitolíticas sugerem que estes solos foram formados sob vegetação mista de plantas do ciclo C_3 e C_4, com predomínio de plantas C_3. As análises dos resultados não marcam mudanças climáticas, apenas oscilações de momentos mais secos que o atual. O protocolo adotado de observação e quantificação por área de feições biológicas em blocos e seções delgadas permitiu inferir que a bioturbação apresentou maior influência nos níveis do solo onde se constatou pela análise isotópica períodos em que as condições ambientais eram mais quentes e úmidas, esse comportamento refletiu na distribuição de fitólitos ao longo do perfil, com maiores concentrações de morfotipos em superfície e declínio com a profundidade. O contraste textural entre os solos estudados também promoveu diferenças na preservação dos fitólitos. No perfil de textura mais argilosa, os fitólitos apresentaram maior grau de preservação, em contrapartida, no perfil de textura média, e portanto menores teores de argila, óxidos de ferro e matéria orgânica, a superfície dos fitólitos estiveram mais expostas ao contato com os grãos de quartzo, favorecendo o ataque químico, fazendo com que nesse perfil os fitólitos fossem menos preservados. A presença de fitólitos corroídos em superfície e o aparecimento de fitólitos bem preservados em maiores profundidades indicou mistura causada pela bioturbação, mesmo em zonas onde a mesma foi menos expressiva. Por outro lado, mesmo com fortes indícios de mistura em atributos morfológicos, físicos e químicos a bioturbação não ocasionou alterações bruscas nas assembleias de fitólitos, indicando que os Latossolos mesmo sendo intensamente remodelados pela fauna edáfica e ação de raizes representam um bom registro de mudanças ambientais.

Palavras-chave: Reconstituição Paleoambiental; Sílica biogênica; Remonte biológico

ABSTRACT

Bioturbation and distribution of phytoliths in Oxisols of Paulista Peripheral Depression

Ferralsols are the most representative soils of Brazil, commonly associated weathered, deep, and very homogeneous soils. This homonegenization is attributed to the formation process called bioturbation, which is the mixture of the soil particles, including phytoliths, which in tropical conditions are mainly caused by action of termites, ants, eartworms, e plant roots. Phytoliths are opaline silica bodies formed by the uptake of monossilicic acid by plant roots, which after evapotranspiration are polymerized and take the form of the cell or tissue in which they were deposited. The phytolytic analysis has been used for reconstitutions of the climate, vegetation and past environments, since its composition (biogenic silica) allows a preservation in the soils, for long periods. However, the paleoenvironmental reconstitutions carried out in Ferralsols have been challenged due to the significant biological activity in these soils, which may 'disturb' the phytolithic assembly, casting doubt on the validity of the technique. Considering the hypothesis that bioturbation is not a homogeneous process throughout the profile, the study aimed to understand the influence of biological activity on the distribution of phytoliths in two Latosols of contrasting textures. The results obtained for the chemical and physical analysis classified the soils in Rodhic Ferralsol (clayic, dystric) (profile 1), Haplic Ferralsol (loamic, dystric) (profile 2). In this work no dating was made, making it impossible to establish the chronology of the events, but the isotopic and phytolytic analyzes suggest that these soils were formed under mixed vegetation of C_3 and C_4 plants, with predominance of C_3 plants. The analyzes of the results do not mark climatic changes, only oscillations of moments drier than the present one. Bioturbation showed greater influence in the soil in periods where the environmental conditions were hotter and wetter, this behavior reflected in the distribution of phytoliths along the profile, with higher concentrations of surface morphotypes and decline with depth. The textural contrast between the studied soils also promoted differences in the preservation of phytoliths. In the more clayey texture profile, the phytoliths presented a higher degree of conservation, in contrast, in the medium texture profile, and therefore lower levels of clay, iron oxides and organic matter, the phytoliths were more exposed to the contact of their surface with the with higher quartz grains, providing larger areas of contact for the chemical attack, making the phytoliths less preserved in this profile. The presence of corroded phytoliths on the surface and the appearance of well preserved phytoliths at greater depths indicated a mixture caused by bioturbation, even in areas where it was less expressive. On the other hand, even with strong mix of evidence in morphological attributes, physical and chemical bioturbation did not cause abrupt changes in phytoliths assemblies, indicating that Latosols even being intensively refurbished by the soil fauna and roots of action represent a good record of environmental changes .

Keywords: Paleoambiental Reconstitution; Silica biogenic; Biological mixing

1 INTRODUÇÃO

A ordem dos Latossolos compreende solos minerais, com horizonte diagnóstico B latossólico, em avançado estágio de intemperização, resultante da ação conjunta de dois processos pedogenéticos denominados ferralitização, que é a intensa dessilicatização e concentração de óxidos de ferro e de alumínio, e a bioturbação como mistura de solo decorrente de ação da fauna edáfica e vegetação. As transformaçães ocasionadas por estes fatores supracitados, originam perfis de solos profundos, muito homogêneos, sem incremento de argila significativo, bem drenados, eventualmente destituídos da presença de minerais primários intemperizáveis, e com baixa capacidade de troca catiônica e de saturação por bases (EMBRAPA, 2018).

Os Latossolos apresentam ampla distribuição no Brasil, ocorrendo em diferentes posições topográficas, materiais de origem e condições climáticas, correspondendo a aproximadamente 32% da cobertura do território brasileiro (ANJOS et al., 2012). Seus atributos físicos, favorecem o estabelecimento de diversas atividades agrícolas, apesar das limitações químicas, portanto são solos de muita importância para o desenvolvimento econômico do país.

Devido à importância desses solos no território brasileiro e a peculiaridade de se restringirem ao ambiente tropical, diversos estudos pedológicos foram realizados no Brasil desde a década de 1950 com foco na caracterização dos atributos morfológicos, químicos, físicos, mineralógicos e ao entendimento da gênese dos Latossolos entre outros. Em que pese que todos os autores reconheçam a grande espessura dos Latossolos, a maioria desses estudos tiveram por foco a seção de controle dos solos, que nesta ordem se limitam aos primeiros 200 cm de profundidade nos diferentes sistemas de classificação pedológica.

A intensa atividade da fauna edáfica, promove o revolvimento de partículas e contribui para a microagregação de grau forte o que é citado pela maioria dos estudos sobre a pedogênese de Latossolos (WAMBEKE et al., 1983; BARTHÈS et al., 2008; RABBI et al., 2015; JOUQUET et al., 2016). A fauna edáfica (formigas, cupins, minhocas e outros) escava o solo em busca de alimento e abrigo. As principais ações pedogênicas dessas escavações consistem no amontoamento, formação de poros grandes, formação e destruição de agregados, facilitando o movimento da agúa e do ar no solo e controle de nutrientes, e o processo de mistura ocasionando a homogeneização de partículas e agregados (HOLE, 1981; LAVELLE et al., 1992).

A homogeneização intensa supostamente provocada pela fauna e queda de árvores de forma ininterrupta em Latossolos situados em superfícies antigas e estáveis, provoca indagações sobre a interpretação de estudos que utilizam este tipo de solo como registro de mudanças ambientais (ALEXANDRE et al., 1999; CALEGARI et al., 2013). Por outro lado Muggler & Buurman (2000) sustentam que estes solos sejam mormente poligenéticos, ou seja, por estarem amplamente distribuídos em superfícies estáveis muito antigas, passaram por vários ciclos de formação, sendo considerados ótimos registros da mudanças ambientais pretéritas.

Os *proxies* utilizados em resconstituições de ambientes mais difundidos são os isótopos de carbono, grãos de pólen e fitólitos. A palinologia é muito eficiente em solos hidromórficos, no entanto, em condições oxidantes, não se preservam em qualidade e quantidade suficiente para sustentar uma análise de reconstituição ambiental (ARGANT, 1990). Essa limitação favorece o uso da análise de fitólitos que, em condições normais, podem permanecer por longos anos no solo (STROMBERG, 2004).

Os fitólitos, ou silicofitólitos, são corpos de sílica opalina (SiO_2. nH_2O) produzidos por plantas durante o desenvolvimento de seus ciclos vegetativos (TWISS et al., 1969; ROVNER, 1971). Algumas plantas absorvem o ácido monosilícico (H_4SiO_4) presente na solução do solo, e após a evapotranspiração a sílica é deposidatada dentro e entre as células (PIPERNO, 2006), gerando corpúsculos microscópicos com formas reconhecíveis, que se assemelham o local onde foram formadas. Com a morte da planta, ou de parte dela, e a decomposição da MOS os corpos silicosos são incorporados ao solo (PIPERNO, 2006) tornando-se parte da matriz do solo compondo a fração silte (0,05 – 0,002mm).

Os fitólitos podem permanacer por longos anos após a sua incorporação ao solo, e por esse motivo têm se mostrado muito eficiente na identificação de vegetações de campo (gramíneas) e florestas e savanas (plantas arbóreas) (BREMOND et al., 2008) que existiram ao longo da formação do solo, possibilitando a identificação de ambientes e climas pretéritos (TWISS, 2001). Considerando o tamanho dos fitólitos (predominantemente fração silte) eles podem ser removidos, translocados e acumulados como qualquer outra partícula mineral do solo do mesmo tamanho, seja pelo vento ou pela água a longas distâncias ou verticalmente nos perfis pela bioturbação (HART; HUMPHREYS, 1997, 2003).

Alguns estudos sugerem que a concentração de fitólitos é geralmente mais alta no horizonte A de um solo e diminui, mais ou menos subitamente, com a profundidade (ALEXANDRE et al., 1997; RUNGE, 1999). Por outro lado, a maioria das pesquisas sobre

Latossolos induzem à crença de que os mesmos são solos completamente homogêneos, desta forma a bioturbação é tratada como um processo constante no perfil, todavia, neste trabalho, assumimos que a estratigrafia da bioturbação não é homogênea, e que as áreas de maiores influências da fauna e ação de raizes são reflexos de mudanças de condições ambientais, e a presença de fitólitos preservados, isso é, sem sinais de dissolução, em maiores profundidades podem elucidar esta afirmação.

Desta forma, considerando estas premissas, visando a validação da análise fitolítica para fins de reconstituição paleoambiental em Latossolos, bem como o comportamento da distribuição de fitólitos dentro e além da seção de controle, a presente pesquisa foi realizada objetivando:

I. Analisar a bioturbação e sua relação com o processo de mistura na distribuição dos fitólitos, além da seção de controle em Latossolos com texturas contrastantes.

Os objetivos específicos incluem:

- Descrever e quantificar feições biológicas por meio da micromorfologia;
- Analisar a assembleia de fitólitos e reconstituir o paleoambiente em dois perfis de Latossolos;
- Quantificar os morfotipos com sinais de tafonomização ao longo dos perfis.
- Verificar o efeito da textura na distribuição e atributos dos fitólitos ao longo dos perfis de latossolos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Latossolos: Atributos Gerais

O termo “Latossol” foi proposto pelo pedólogo americano Charles E. Kellog durante uma conferência realizada em 1949 na cidade de Washington sobre classificação de solos. Latossol deriva do latim “*laterite*” e “*solum*”, tendo seu significado remetido a tijolo ou sugerindo material altamente intemperizado (SEGALEN, 1994).

Esta classe de solo teve o propósito de agrupar solos intemperizados de zonas tropicais que, até o momento da conferência, eram chamados de “*laterite*” e “*lateritic soils*”. Com o aprimoramento do sistema americano de classificação de solos e a definição do “oxic horizon” (EUA, 1994), os solos latossólicos foram incluídos na ordem dos Oxisols, não usando mais o termo latossol. Para isto, criou-se a definição do horizonte subsuperficial óxico. Latossolos, assim chamados no Brasil, que guardam correspondência com os Oxisols e com os Ferralsols dos sistemas americano e FAO (EUA, 1994 e WRB, 2015).

A classe dos Latossolos representa uma área de 32% do território brasileiro, sendo a classe de solo mais dominante do país (ANJOS et al., 2012) e sua formação está vinculada a processos pedogenéticos conhecidos como ferralitização e bioturbação. O primeiro consiste na dessilicatização intensa, lixiviação progressiva de bases e um acúmulo residual de oxi hidróxidos de ferro e alumínio na fase sólida, causados pela hidrólise acentuada predominante nos climas tropicais quentes e úmidos.

A ferralitização é o processo responsável pela simplicidade mineralógica constituinte desses solos, que na fração argila se restringe à dominância de caulinita, óxidos de ferro (hematita e goethita), e hidróxido de alumínio (gibbsita), podendo haver também filossilicatos 2:1 com hidróxi entrecamadas (VHE E EHE) e óxidos de Ti (BUOL et al., 2011). A bioturbação, por sua vez, é reconhecida como o processo responsável pelo intenso revolvimento do solo produzido pela fauna, principalmente, minhocas, formigas e térmitas garantindo a homogeneidade nas características químicas e físicas ao longo do perfil (HOLE, 1960; SCHAETZEL; ANDERSON, 2005).

Além da ação da fauna, a queda de árvores como parte da bioturbação é também um fator importante na homogeinização dos solos (SCHAETZEL; ANDERSON, 2005), e devido

a ocorrência de Latossolos em superfícies antigas e relativamente estáveis, é de se esperar um efeito mecânico importante da queda de árvores ao menos na parte superior desses solos, compreendida entre o horizonte A e o topo do B latossólico (VIDAL-TORRADO, 2017)[1].

Em geral, os Latossolos possuem elevada acidez e saturação por alumínio trocável e baixa soma de bases e atividade da fração argila (KER, 1999; BUOL et al., 2011). Seus principais atributos morfológicos refletem seu grau de pedogênese com elevada homogeneidade em cor e na distribuição de argila em profundidade, não expressando gradiente textural. Latossolos com maiores teores de óxidos de Fe apresentam forte microagregação e fraco desenvolvimento da macroestrutura (BUOL et al., 2011), mas os Latossolos cauliníticos ou Latossolos Brunos apresentam menor influência da microagregação em seu desenvolvimento estrutural (KER et al., 1999; EMBRAPA, 2018).

Latossolos são considerados os solos mais evoluídos da pedosfera. Estão associados a superfícies estáveis e antigas, facilitando o uso da mecanização intensa, tornando-os passíveis de utilização com diversas culturas. De solos pouco importantes para a agricultura na primeira metade do século XX, os Latossolos passaram a ter uma agricultura intensa e altamente tecnificada fato que gerou muito interesse por conhecer melhor estes solos. A partir da década de 50 um número significativo de pesquisas voltadas para a compreensão dos atributos químicos, físicos e gênese desses solos foi publicado (MOURA FILHO; BUOL, 1972; LEPSCH ;BUOL ,1974; 1988; MONIZ; BUOL, 1982; VIDAL-TORRADO; LEPCSH ., 1999; SCHAEFER 2001; FERREIRA et al., 2001; SOUSA; LOBATO, 2014) entre muitos outros. Porém, estas pesquisas foram restringidas à seção de controle, que se limita aos primeiros 2 metros do perfil de solo nos diferentes sistemas de classificação (WRB, EUA, EMBRAPA 2018).

Outra questão, ainda relacionada às relações solo-topografia, remete à poligenia dos Latossolos, ou seja, por estarem situados em posições muito antigas e estáveis na paisagem, eles podem ter tido diferentes ciclos de formação, sendo influenciados por distintos climas pretéritos atuantes (MUGGLER; BUURMAN, 2000). Um exemplo sobre a poligenia são alguns Latossolos Húmicos, que por apresentarem horizonte A húmico hiperdesenvolvidos, instiga o entendimento sobre a formação poligenética desses solos, visto que outros Latossolos

---

[1]VIDAL-TORRADO, P (Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ – Piracicaba, 2017).

desenvolvidos em superfícies recentes não possuem tal horizonte (VIDAL-TORRADO, 1999; CALEGARI, 2008, SILVA;).

A poligenia é um dos aspectos que torna os Latossolos importantes reservatórios de *proxies* e indicadores usados como registros de mudanças ambientais (SCHAEFER, 2001), tais como os fitólitos, isótopos de carbono, mineralogia e micromorfologia, que vêm sendo utilizados como ferramentas que auxiliam no entendimento do ambiente durante a formação de solos. Para isso, cada vez mais estudos têm utilizado técnicas *multi-proxie*, ou com vários indicadores, na intenção de desvendar e elucidar a gênese dessa ordem de solo, (CALEGARI et al., 2013)

2.2 Fitólitos: Definição, Formação E Aplicabilidades

2.2.1 Definição e formação dos fitólitos

A palavra fitólito deriva do grego *phyto* (planta) e *lithos* (pedra), e significa "pedra produzida por planta" (PIPERNO, 2006). Tal termo faz referência a formas de substâncias mineralizadas pelas plantas, constituída por sílica hidratada, fazendo parte da listagem de *proxies* biológicos utilizados para compreender ambientes e climas pretéritos (PIPERNO, 2006; ROVNER, 1971). No entanto, outros termos também são utilizados para designar tais corpos silicosos produzidos pelas plantas, como: silicofitólitos, fitólitos de opala, opala de plantas, sílica opalina, silíca biogênica e biólitos (CAVALCANTE, 1986; PIPERNO 1988; THORN, 2007).

Por definição, são partículas inorgânicas biogênicas de tamanho microscópico, que se formam em algumas partes das plantas, como, raízes, caules, folhas, inflorescências e sementes (RAPP; MULHOLLAND, 1992). O fitólito resulta da deposição de sílica solúvel, que no solo encontra-se na forma de ácido monossílico $Si(OH)_4$, em regiões intra ou extracelulares. A sílica solúvel é absorvida pelas raízes das plantas, em solos com pH entre 2 e 9, e é conduzida pelo xilema para os órgãos aéreos (PIPERNO, 1988). Uma parte da solução absorvida do solo é utilizada em processos metabólicos da planta, a outra parte é depositada em cavidades intra e entrecelulares e com o decorrer do tempo, após a evapotranspiração, ocorre à cristalização e o material assume a forma da célula em que foi depositada (THORN, 2007).

Nas plantas, a sílica pode atuar na resistência ao ataque de pragas e doenças, absorção de outros elementos, até mesmo metais pesados e fortalecimento da estrutura das folhas (EPSTEIN, 2001). Após a morte do tecido vegetal, o fitólito é disponibilizado ao solo, e uma vez incorporado, podem aportar informações sobre o clima e a vegetação pretérita em escala local, proporcionando o entendimento de questões de cunho arqueológico, paleobotânico e paleoambiental de uma área (PIPERNO, 1988) e pedogenéticos (CALEGARI, 2008; CALEGARI et al., 2017; CHIAPINI et al., 2018; SILVA NETO et al., 2018).

2.2.2 Preservação da assembleia fitolitica nos solos

A preservação da assembleia fitolítica no solo é dependente de processos tafonômicos[2] que envolvem ataques químico (dissolução) e físico, bioturbação e translocação no perfil (MADELLA; LANCELOTTI, 2012; OSTERRIETH et al., 2009) . Sob condições normais, os fitólitos podem permanecer por longos períodos no solo, por isso são considerados bons marcadores biológicos, que auxiliam na compreesão de ambientes passados quando não se têm lagos ou turfeiras no local (STROMBERG, 2004).

O ataque físico ocorre quando os corpos de sílica são expostos ao transporte que podem danificar mecanicamente as formas dos fitólitos (este transporte também pode acontecer na fase da planta morta, mas enquanto os fitólitos são protegidos dentro dos tecidos, o dano deve ser insignificante) (MADELLA; LANCELOTTI, 2012). O transporte pode ser feito pelo vento e/ou pela água e o resultado pode ser a quebra das extremidades e pontos fracos do fitólito (por exemplo, a parte mais estreita de um bilobado), o rompimento do corpo principal e/ou abrasão.

A consequência extrema do transporte poderia ser a modificação completa das características do corpo de sílica (especialmente no caso de forte abrasão) que resultaria na impossibilidade de identificação correta. Em geral, os fitólitos não são transportados por longas distâncias porque são partículas relativamente “pesadas” (em oposição ao pólen, por exemplo), mas existem situações em que o transporte pode ser um fator importante na composição de uma assembleia. Este é o caso de ambientes secos com vegetação esparsa e ventos fortes (por

---

[2] A tafonomia é comumente descrita como “o estudo das condições ambientais que afetam a preservação de restos de animais ou plantas”.(MADELLA; LANCELOTTI, 2012).

exemplo, desertos, loess planaltos) ou ambiente com fortes precipitações e importantes escoamentos.

O grau de translocação do fitólito relacionado à infiltração de água na coluna de solos ainda é um tema pouco estudado (MADELLA; LANCELOTTI, 2012). Estes mesmos autores revisando o tema, apresentam que alguns autores consideram este um processo significativo, enquanto outros consideram os fitólitos quase estacionários e destacam que a taxa de transporte de fitólitos pode variar de forma importante, dependendo das características físicas do solo.

O ataque químico envolve a dissolução que normalmente afeta os fitólitos como um processo pós-deposicional, durante a pedogênese e diagênese, podendo levar a uma mudança substancial no reservatório de fitólitos do solo. Este processo é controlado pelo pH, disponibilidade de água e tempertura do ambiente em que o fitólito foi depositado. A sílica apresenta solubilidade em uma ampla faixa de pH, entretanto, solos onde o potencial hidrogeniônico é acima de 8, a dissolução torna-se extremamente forte (PIPERNO, 1988).

Alguns estudos demonstram que em ambientes florestais uma parte importante do conjunto de fitólitos é rapidamente dissolvida e absorvida pelas plantas e a contribuição dos fitólitos ao fluxo de sílica dissolvida é de três vezes maior que a do componente mineral (GOCKE et al., 2013; SOMMER et al., 2006, 2013). Taxas de dissolução para fitólitos parecem ser semelhante e independente da área da superfície específica do morfotipo e experimentos sugerem que a maior liberação de Si acontece durante degradação de serapilheira (FRAYSSE et al., 2009).

Outro processo ao qual o fitólito é submetido após a deposição é a translocação comandada pela bioturbação, onde a ação de raízes e fauna do solo realocam partículas de menor fração (HART; HUMPHREYS, 1997; RUNGE, 1999). A bioturbação extrema pode dar origem a dois conjuntos (assembleias) de fitólitos claramente diferentes (em cronologia e composição) existentes lado a lado no mesmo horizonte de solo. É o caso, por exemplo, de solos tropicais e subtropicais com a presença de formigas e térmitas que translocam materiais entre os horizontes A húmico e B latossólico até a profundidade de 200 cm (CALEGARI et al., 2013).

2.2.3 Aplicabilidade da análise fitolítica

Assim como o pólen, o fitólito também vem sendo utilizado como um *proxie* promissor na reconstituição de ambientes pretérios, por ser um material inorgânico que não requer condição especial de preservação, sendo considerado um dos fósseis de plantas terrestres mais duráveis, por possuir morfologia capaz de auxiliar na diferenciação de famílias e apresentar alta produção em diferentes partes dos vegetais (ALBERT, 1995).

Entretanto, assim como qualquer marcador, os fitólitos apresentam limitações, que nesse caso estão relacionadas a questões fisiológicas da planta. Rovner (1971) alerta que é necessário ter cautela no momento de interpretações, visto que nem todas as plantas são produtoras de fitólitos, além das características de multiplicidade e redundância na produção pelas plantas. Multiplicidade é referente ao fato de uma mesma planta poder produzir diferentes formas de fitólitos, e redundância refere-se à capacidade de várias plantas produzirem o mesmo morfotipo (ROVNER, 1971).

Visando a segurança de identificações e credibilidade de dados, cada vez mais estudos voltados à produção de coleções de referências vêm sendo realizados (DELHON, 2003; BARBONI et al., 2007; BREMOND et al., 2008; TWISS, 1992), e atualmente é possível fazer identificações de morfotipos com significado taxonômico em nível de família (PEARSALL, 2000).

As primeiras observações sobre estudos fitolíticos foram feitas por Christian Ehrenberg, que em 1854 propôs o primeiro sistema de classificação de fitólitos, reconhecendo diferenças morfológicas em nível de família (ZUCOL, et al., 2008). Após o descobrimento das células silicificadas, os estudos foram voltados para questões botânicas (1895-1936) e ecológicas (1955-1975), a técnica começou a ser aplicada aos estudos ecológicos, foi expandida a nível internacional, sendo incorporada por botânicos, agrônomos, geólogos e pedólogos que utilizavam a análise de fitólitos a fim de definir interferências paleoambientais.

A partir de 1971 até os dias atuais, os estudos fitolíticos começaram a ser empregados para a identificação de grãos de vegetais em sítios arqueológicos na América Central e Europa, indicando o potencial da técnica para questões arqueológicas e reforçando a ideia de que os fitólitos são bons marcadores em reconstituições paleoambientais (MADELLA et al., 2012).

No Brasil, os primeiros estudos datam da década de 60, conduzidos por Luiz Gouveia Labouriau, realizados na região do cerrado brasileiro, de caráter principalmente taxonômico e ambiental, onde o objetivo era gerar um banco de dados com a morfologia dos fitólitos

produzidos por plantas e sua permanência nos solos estudados (LABOURIAU, 1963; SENDULSKY; LABOURIAU, 1966; CAVALCANTE, 1968; CAMPOS; LABOURIAU, 1969; SONDAHL; LABOURIAU, 1970; SILVA; LABOURIAU, 1970; FIGUEIREDO; HANDRO, 1971; LABOURIAU, et al. 1973; LABOURIAU, 1983).

Segundo Cechet (2015), duas frentes de pesquisas fitolíticas se destacam no Brasil, a sistemática de fitólitos de plantas modernas para elaboração de coleções de referências, que propiciam suporte para os estudos de reconstituição paleoambiental e cultural e a comparação e interpretação de assembleias de fitólitos preservadas em solos e sedimentos no estudo propriamente dito de reconstituição paleoambiental, em conjunto com outras técnicas e proxies biológicos, sedimentares e pedológicos.

A intensificação dos estudos fitolíticos feitos por brasileiros se deu a partir de 2008, onde a análise passou a ser subsídio de questões pedogenéticas, como o trabalho desenvolvido por Calegari (2008), que investigou a gênese de horizonte A húmico em Latossolos para entender os processos de incorporação e estabilização da matéria orgânica que levaram à formação desse horizonte hiperdesenvolvido na classe citada. Os resultados das análises fitolíticas e isotópicas, aliadas aos dados morfológicos e geoquímicos do solo evidenciaram que a gênese da matéria orgânica caracterizada no horizonte A húmico dos perfis estudados se desenvolveu predominantemente sob vegetação com mistura de plantas do ciclo fotossintético C3 e C4, com incremento progressivo de plantas C3 desde o Holoceno inferior médio até o presente.

A mudanças climáticas do Holoceno nas regiões sudeste e sul do Brasil foram objeto de estudo de outros trabalhos como Paisani et al., (2013); (2016); Barros e Silva, (2013); Macedo, (2014); Coe et al., (2014); (2015); Lorente et al., (2015); Barros et al., (2016); (2017b); Silva et al., (2016); Kalinovski et al., (2016); Parolin et al., (2017); Calegari et al.,(2017a); (2017b); Chiapini et al., (2018) Silva Neto et al., (2018) .

2.3 Bioturbação: Definição E Principais Efeitos No Solo

Pedoturbação é um processo formador de solo, que consiste na mistura de materiais sólidos ocasionada por diferentes agentes causais, tais como, água, gases, fauna, flora, gelo e atividades antrópicas (HOLE, 1960). Bioturbação é um termo utilizado para especificar movimentação de partículas e agregados do solo que é feita pela ação de raízes, como a queda

de árvores, e de forma especial e de maior alcance em profundidade a ação da fauna edáfica. Este processo é muito intenso e evidente em Latossolos.

Os primeiros relatos sobre o efeito da biota alterando a distribuição de partículas foram registrados primeiramente por Charles Darwin. Em 1881, Darwin observou a mistura de material orgânico e mineral no solo feito por minhocas, e notou que as perturbações causadas eram evidentes em subsuperfície até 2,5 m (DARWIN, 1881 *apud* WILKINSON et al., 2009).

Pouco tempo depois, em 1891, Sharler reconheceu o papel de outros agentes, como as formigas e árvores e relatou que as distribuições de partículas refletem o efeito de classificação dos bioturbadores nos solos, principalmente os mantos livres de pedras, resultantes da redistribuição de material feitas pelos invertebrados. As observações feitas por Darwin e Shaler disseminaram-se por quase 50 anos, mas o domínio do Departamento de Agricultura dos EUA sobre a pedologia nascente e seu foco na produção agrícola fez com que a bioturbação e a pedogênese em geral fossem superadas em atenção por questões agronômicas (DARWIN, 1881 *apud* WILKSON et al., 2009).

Em meados da década de 80 do século XX, os estudos voltados sobre a influência da bioturbação na formação de solos foram retomados, agora com uma linguagem pedogenética, ressaltada como bioturbação e biomanto (JOHNSON, 2002). O biomanto é definido por uma zona onde uma ou mais camadas são produzidas primordialmente pela bioturbação, sendo diagnosticadas pelas observações e mensurações dos atributos do solo, como por exemplo, a diferenciação da biofábrica e tamanho de partículas (SCHAETZEL; ANDERSON, 2005).

Jones et al (1994) defininiu como engenheiros de ecossistemas os organismos capazes de modular direta ou indiretamente a disponibilidade de recursos para outras espécies, causando mudanças físicas em materiais bióticos ou abióticos. Minhocas, cupins e formigas foram identificados como os engenheiros de solos mais relevantes. O âmago da definição de engenheiros do solo está na capacidade desses organismos se moverem através do perfil e construírem estruturas organo-minerais com propriedades físicas, químicas e microbiológicas específicas (LAVELLE et al., 1997).

Os efeitos da fauna nas propriedades dos solos podem ser diretos ou indiretos. Barros et al. (2001) e Jouquet et al. (2015) constataram que a atividade das térmitas e das minhocas alteram atributos químicos, físicos, mineralógicos em diferentes classes de solos. Na maioria

dos casos as atividades dos engenheiros do solo são referentes às construções de estruturas de ninhos para o desenvolvimento de suas colônias (JOUQUET, et al., 2002).

Os térmitas ou cupins são insetos que protegem suas colônias, melhorando a estabilidade estrutural do solo contra o fluxo de água ou as defesas contra a intrusão de predadores invertebrados do solo, em particular as formigas (JOUQUET et al., 2003, 2004). Coletam partículas de diferentes profundidades do solo e as depositam em montículos, e durante a manipulação das partículas, as mesmas são enriquecidas em C orgânico e nutrientes (BROSSARD et al., 2007). Esses excrementos conferem elevação do pH e da população microbiana nos montículos (OHKUMA, 2003). Posteriormente, o material acumulado é redistribuído por erosão, ocasionando mudanças no arranjo dos constituintes e e nos conteúdos de nutrientes do solo (SCHAEFER, 2001; SCHAETZEL; ANDERSON, 2005).

Em estudos com Latossolos desenvolvidos no Congo perante a atividade dos térmitas, observou-se que houve uma diminuição no pH e um incremento no teor de carbono orgânico e de cargas permanentes, propondo uma contribuição de minerais 2:1, quando comparado com os Latossolos circundantes (MUJINYA et al., 2010).

A ação mecânica de transporte pelos engenheiros dos solos de partículas orgânicas e minerais no momento da formação de seus ninhos além de ser um processo fundamental na dispersão de nutrientes, também é fundamental na homogeneização de perfis de solos, principalmente nos Latossolos (SCHAEFER, 2001).

.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área de estudo

A região escolhida para o estudo pertence ao município de Piracicaba- SP, onde se escolheu os perfis 1 e 2 situados nas coordenadas geográficas 22°43'42.31"S e 47°32'59.26"O (Perfil 1) e 22°43'5.31"S e 47°36'58.02"O (Perfil 2) (Figura 1). O clima da região é classificado como Cwa segundo Koppen, mesotérmico subtropical úmido, com inverno seco durante os meses de junho a agosto e verão chuvoso entre novembro e janeiro. Geomorfologicamente, a região estudada situa-se na zona do Médio Tietê da Depressão Periférica Paulista, definida como uma área de sedimentos paleozoicos cuja superfície foi rebaixada pela erosão (PENTEADO, 1969) que se limita entre o Planalto Cristalino Atlântico e as Cuestas basálticas.

Os perfis escolhidos para o estudo localizam-se em remanescentes de superfícies aplainadas com cotas altimétricas de 595 m no Perfil 1 e 588 m no Perfil 2. O perfil 1 foi descrito e coletado em barranco de estrada sob plantio de cana-de-açúcar e o perfil 2 descrito e coletado em trincheira no campus da ESALQ-USP. A geologia da área é do permiano com rochas do Membro Taquaral, base da Formação Irati do Grupo Passa Dois da Bacia do Paraná (AMARAL, 1971). O material de partida do perfil 1 foi considerado por VIDAL-TORRADO (1994) como resultante do retrabalhamento de argilitos do Membro Taquaral, base da formação Irati, com eventuais contribuições de diques de rochas básicas do cretáceo. O perfil 2 é derivado de material retrabalhado de arenitos, portanto sedimentos psamíticos inconsolidados relacionados à Formação NeoCenozóica Rio Claro, assentado sobre sedimentos argilosos da Formação Irati (Cooper et al, 2002). A vegetação primária constitui-se da Floresta Estacional Semidecidual (RODRIGUES, 1999) e o atual uso da terra caracteriza-se pelo plantio de cana de açucar no Perfil 1 e por pastagem alternada com culturas anuais no Perfil 2.

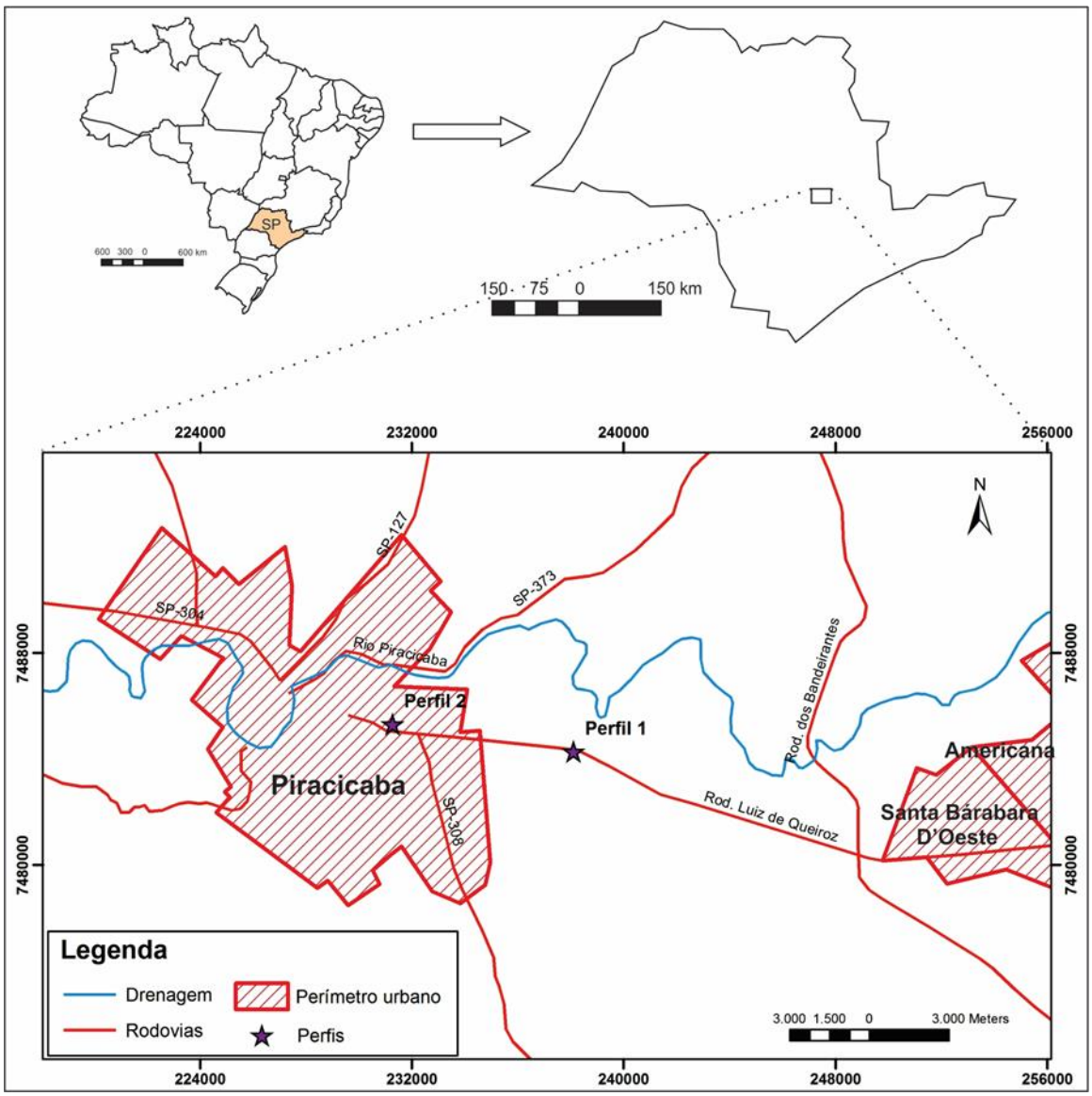


Figura 1 Mapa de localização dos perfis estudados na região de Piracicaba – SP.

3.2. Amostragem e Descrição dos Perfis

As amostragens para as análises em questão foram feitas até a profundidade de 5 m no Perfil 1, e 4 m no Perfil 2. Amostras inderfomadas foram coletadas para estudo micromorfológico de todos os horizontes, buscando verificar a contribuição da atividade biológica no transporte dos fitólitos ao longo dos perfis. Tanto a coleta como as atividades de impregnação posteriores em laboratório seguiram a metodologia proposta por EMBRAPA (2017).

A amostragem para as análises isotópicas e fitolíticas foram feitas respeitando o intervalo de coleta de 10 em 10 cm.

Descrições morfológicas foram feitas seguindo o manual de coleta e descrição de solo no campo (SANTOS et al., 2015). A amostragem para análises físicas e químicas para fins de classificação dos solos foi feita por horizonte, seguida pelo procedimento de destorroamento e tamisação em peneira com malha de 2 mm para obtenção da "Terra Fina Seca ao Ar" (TFSA).

3.3. Análises físicas e químicas de rotina

3.3.1. Análise física – Granulometria

A granulometria da TFSA foi feita por meio do método do densímetro, onde foram pesadas 25 g de solo, adicionada uma solução com mistura de NaOH com hexametafosfato de sódio $(NaPO_3)_6$ 0,015 mol L^{-1}, e acomodadas em mesa agitadora por 16 horas. Ao final da agitação, o material disperso foi passado em peneira de 0,053 mm de abertura de malha para a separação da fração areia. Para determinar a fração argila, o material não retido na peneira foi transferido para uma proveta de 500 mL, agitado por aproximadamente um minuto e deixado em repouso por 24 horas, e a argila foi determinada com o auxílio de um densímetro.

A areia retida na peneira foi transferida para um becker previamente pesado e seco em estufa a 105° C por 24 horas, resfriadas em dessecador, pesadas, e separadas por peneiras em cinco frações, a saber: areia muito grossa (2 a 1 mm), areia grossa (1 a 0,5 mm), areia média (0,5 a 0,25 mm), areia fina (0,25 a 0,125 mm) e areia muita fina (0,125 mm). O silte foi determinado pela diferença entre a areia e argila.

3.3.2. Análise química

Para fins de classificação dos solos foi feita a análise química de rotina, conforme se segue: A acidez ativa (pH em H_2O e em KCl 1 mol L^{-1}) foi determinada, potenciometricamente, na suspensão solo-solução 1:2,5, após agitação e repouso por 30 minutos. Cálcio e magnésio trocáveis, extraídos com KCl 1 mol L^{-1} na proporção 1:10, foram determinados por absorção atômica. Potássio trocável e fósforo disponível foram extraídos com solução de Mehlich I na relação 1:8. O fósforo foi determinado, por colorimetria, e o potássio por absorção atômica. O alumínio trocável foi extraído com KCl 1 mol L^{-1}, na proporção 1:10, e determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L^{-1} (DEFELIPO e RIBEIRO, 1991). A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio 0,5 mol L-1, na relação 1:15 com pH ajustado entre 7,1 a 7,2, e determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L^{-1} (EMBRAPA, 1997**).**

3.4. Micromorfometria

3.4.1. Preparação de Lâminas Delgadas

As coletas de amostras inderfomadas e a preparação das lâminas delgadas foram feitas de acordo com a metodologia proposta por Embrapa (2017). Após a coleta, os blocos foram secos ao ar durante 15 dias e posteriormente em estufa à 40°C com ventilação forçada, a fim da retirada de umidade residual visando uma melhor impregnação, que foi feita com uma mistura de resina de poliéster e monômero de estireno com adição de 15 gotas de catalisador Butanox.

Em seguida, as amostras foram acomodadas em dessecadores ligados a uma bomba de vácuo, auxiliando na impregnação. Após o período de secagem da resina, os blocos foram cortados e confeccionadas as lâminas delgadas para observação e descrição em lupa estereoscópica e em microscópio petrográfico. Os processos de impregnação dos blocos, confecção das lâminas delgadas e descrição sob lupa estereoscópica e em microscópio petrográfico foram realizados no laboratório de micromorfologia da ESALQ/USP.

3.4.2. Quantificação de feições biológicas

Para a visualização semiquantitativa da participação da fauna do solo em processos de translocação elaborou-se um protocolo que quantificasse as feições biológicas descritas no solo na observação microscópica de lâminas delgadas em lupa estereoscópica e na observação visual de blocos polidos. As feições biológicas observadas foram bioporos preenchidos e canais de raízes. A identificação dessas feições nos blocos foi feita mediante a observações de tamanho, arredondamento e cor dos agregados presentes nos poros.

Imagens digitalizadas foram obtidas a partir do material confeccionado (blocos polidos e lâminas delagadas) sob luz ultravioleta utilizando uma câmera Nikon. As imagens foram processadas utilizando o programa Visilog 5.4 (Noesis). O tratamento das imagens consistiu na delimitação dos bioporos preenchidos produzidos pela bioturbação nas imagens digitalizadas. Dessa forma foi obtida a área em μ^2 das feições observadas (Figura 2).

A representação total foi feita pela somatória das áreas demarcadas como sendo de origem biológica, dividida pela área total da imagem, multiplicado por cem. O resultado foi expresso em porcentagem de área ocupada na lâmina e no bloco por feições biológicas, conforme fórmula matemática:

$$\%B = ((ATFB/ATI)*100)$$

Onde

%B= porcentagem de bioturbação

ATFB= área total de feições biológicas (no bloco e na lâmina)

ATI= área total da imagem

A) B)

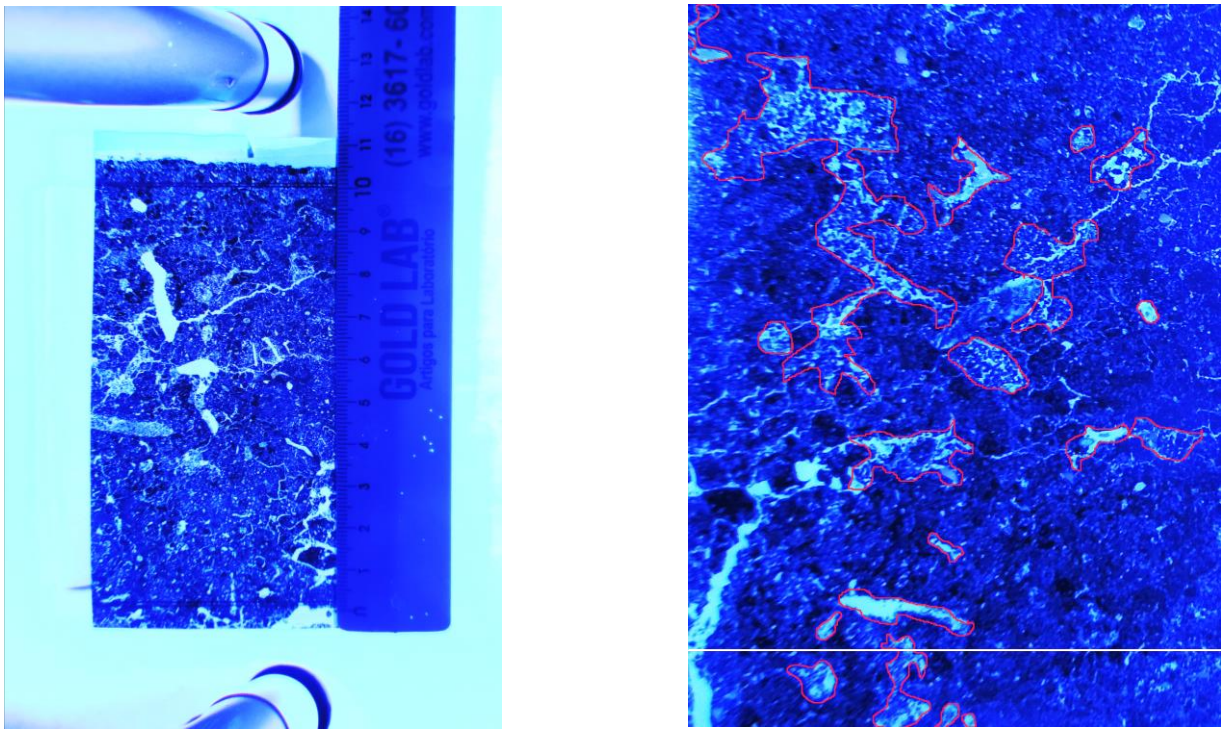


Figura 2. A- momento da digitalização das imagens. B- delimitação de feições biológicas feitas através do programa Visilog 5.4 (Noesis).

3.5 Análise isotópica (δ13C) e COT

Para análise isotópica e determinação do teor de carbono orgânico total (COT), as amostras foram maceradas em almofariz de ágata e passadas por peneira de 100 mesh, encapsuladas em ependorfs e encaminhadas ao laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, onde foram pesadas em balança analítica com quatro casas decimais de precisão e determinado o valor da razão isotópica $\delta^{13}C$ em analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa. Os resultados são apresentados em unidade de δ (‰) conforme equação:

$$\delta^{13}C = \frac{R\ amostra - RPDB}{RPDB} * 1000$$

Onde Ramostra refere-se a razão $^{13}C/^{12}C$ para a razão isotópica do carbono e RPDB a relação molar $^{13}C/^{12}C$ do padrão Pee Dee Belemnite.

3.6. Análise fitolítica

3.6.1. Extração

A presença significativa de óxidos de ferro nos perfis estudados, em especial o perfil1 com 11% Fe_2O_3 (VIDAL-TORRADO, 1994), acarretou na escolha dos procedimentos adaptados de Mehra e Jackson (1960) e Madella, Powers-Jones e Jones (1998), testados e descritos como método 2 em Calegari et al (2013) devido à sua eficiência na recuperação de fitólitos quanto à diversidade e quantidade. Foram pesados 4 g de TFSA e adicionados 40 mL de peróxido de hidrogênio para a remoção da matéria orgânica. Para a remoção dos óxidos de ferro foi usada a combinação de ditionito-citrato- bicarbonato de sódio. A argila foi eliminada através de centrifugação em rotação baixa para que não ocorresse a quebra dos fitólitos. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Mineralogia do Solo na ESALQ/USP.

Após a remoção de todos os recobrimentos (MOS, óxidos de ferro e argila) procedeu-se à separação dos fitólitos, por densitometria. Para essa estapa, realizada no Laboratorio de Estudos da Dinamica Ambiental – LEDA, da UNIOESTE, Campus Marechal Cândido Rondon, utilizou-se uma solução de politungstato de sódio ($Na_6(H_2W_{12}O_{40})\ H_2O$) de densidade

2,35 g.cm^{-3}. A fração resultante foi utilizada para confecção de lâminas temporárias (com óleo de imersão) e permanentes (com Enterlan ®), para identificação, contagem e classificação dos morfotipos em microscópio óptico.

3.6.2. Contagem, identificação e classificação

A identificação, contagem e classificação dos fitólitos para a caracterização da assembleia fitolítica foi feita em fotomicroscópio petrográfico Zeiss Axioscopic com magnificação de 400 x, no laboratório de micromorfologia de solos da ESALQ/USP. Foram examinadas 50 lâminas para o Perfil 1 e 40 lâminas para o Perfil 2. A identificação dos fitólitos foi feita conforme International Code for Phytolith Nomenclature – ICPN 1.0 (MADELLA et al., 2005). Os fitólitos foram agrupados de acordo com o significado taxonômico e ecológico de cada grupo, baseado em autores como Mulholland e Rapp (1992), Twiss (1992), Fredlund e Tieszen (1994), Alexandre et al. (1997), Alexandre e Meunier (1999), Runge (1999) e Parr e Watson (2007) Brustolin (2013; 2016), Calegari et al. (2017), Cecchet (2012), Felipe (2012), , Raitz (2012)..

Visando a interpretação das variações na vegetação e no ambiente foram utilizadas apenas amostras consideradas válidas, neste caso foram aquelas com mais de 100 morfotipos identificados e com significado taxonômico. Convém salientar que, as definições da quantidade de fitólitos por lâmina irão depender do foco da pesquisa, mas em geral, para estudos de reconstituição paleoambiental são aceitos no mínimo 200 morfotipos identificados e com significado taxonômico por lâmina observada (STRÖMBERG, 2009). Porém, neste trabalho optou-se por assumir um valor menor, para poder obter o máximo de amostras que pudessem auxiliar na interpretação da distribuição e conservação/preservação dos fitólitos nos solos e a interferência da biota na composição das assembleias fitolíticas ao longo dos perfis estudados, foco central desta pesquisa. As configurações dos gráficos e tabelas seguiram o mesmo padrão.

Para o gráfico de distribuição de fitólitos ao longo do perfil, foi necessária a contagem padronizada de grãos de fitólito em uma linha da lâmina que corresepondeu a 20 campos do microscópio. Os valores de fração ácida insolúvel (FIA) foram utilizados para a determinação da concentração de fitólitos por lâmina. Para essa contagem específica, foram selecionadas apenas as lâminas que correspondiam às profundidades das amostras de micromorfologia.

3.6.3. Índices de assembleias de fitólitos modernos e fósseis

Visando a interpretação das condições do ambiente do solo, são calculados os índices a partir das assembleias fitolíticas, sendo eles: Índice de adaptação de aridez (Iph), Índice de densidade arbórea (D/P) e Índice climático (Ic).

O Iph foi calculado baseado na quantidade de fitólitos de Cloridoideae versus Cloridoideae+Panicoideae (TWISS, 1992), indicando a porcentagem de morfotipos de Cloridoideae entre as Poeaceae C_4. Valores altos de Iph sugerem condições de clima seco, em contrapartida, valores baixos indicam condições mais úmidas.

O D/P foi empregado para estimar a densidade arbórea, e consistiu na relação d/p, onde d foi o número de morfotipos de dicotiledôneas e p a quantidade de fitólitos de Poaceae (Pooideae, Cloridoideae, Panicoideae e Buliforms). Valores elevados sugerem maior concentração de dicotiledôneas, ou seja, vegetação arbórea mais fechada. Valores menores indicam maiores porporções de Poaceae, sugerindo vegetação mais aberta (campo).

O Ic foi calculado a partir do número de fitólitos de Pooideae versus Pooideae+Cloridoideae+Panicoideae. Valores altos indicam predomínio de Pooideae, portanto condições mais frias e valores mais baixos indicam condições mais quentes.

3.7. Análise estatística

Para o tratamento estatístico a Análise de correlação de Pearson e Análise Multivariada – Análise de Componentes Principais e Agrupamentos Hierárquicos (Clusters) – foram realizadas para analisar, comparar e agrupar as assembleias fitolíticas. Foram elaboradas matrizes com os valores relativos (%) de cada morfotipo identificado em relação a assembleia. Utilizou-se o programa estatístico MINITAB 17, versão 2014.

4 RESULTADOS

4.1 Atributos morfológicos, físicos e químicos do solo

Os perfis escolhidos foram descritos e coletados até 5m (Perfil 1) e 4m (Perfil 2) de profundidade. O Perfil 1, de acordo com a descrição morfológica (Anexo 1), expôs sequencia vertical, do topo para a base, de horizontes Ap, AB, BA, Bw1, Bw2, Bw3, Bw4, Bw5, Bw6, BC e C. Apresentou coloração muito homogênea, matendo a matiz 2,5 YR (cor úmida) em todos os horizontes, mudando apenas o valor, que no horizonte Ap foi classificado como 2,5 YR 3/4 (vermelho escuro) e nos horizontes subsuperficiais 2,5 YR 2,5/4.

A estrutura primária é composta de blocos subangulares, com variações de grau e tamanho que oscilou de moderada, pequena a média no horizonte Ap e moderada a forte, pequena no horizonte Bw6. A partir do horizonte Bw2 e até Bw5, a estrutura é composta de blocos subangulares que se desfazem em granular forte muito pequena.

A consistência úmida foi friável em todos os horizontes, e para a consistência molhada, os limites de plasticidade e pegajosidade foram de plástica e pegajosa nos horizontes Ap, AB, BA, Bw2, Bw5, Bw6, BC e C, a muito plástica e muito pegajosa nos horizontes Bw1, Bw3 e Bw4 devido a quantidade de argila ser superior a 60%.

O Perfil 2, de acordo com a descrição morfológica, possui sequencia vertical, do topo para a base, de horizontes Ap, AB, BA, Bw1, Bw2, Bw3, Bw4. Apresenta matiz 5 YR (cor úmida), vermelho amarelada em todos os horizontes, com valor e croma de 4/4 nos horizontes Ap e AB, e 4/6 nos demais horizontes. A estrutura apresenta grau fraco em todos os horizontes, com exceção do Bw4 que apresentou estrutura de grau moderado. Tamanho de estrutura variando de pequena a média do tipo granular no Ap e composta de blocos subangulares e grãos simples em subsuperfície.

A consistência seca se manteve ligeiramente dura para todos os horizontes, a úmida variando de friável na superfície para muito friável em subsuperfície. A consistência molhada variou de não plástica e não pegajosa nos horizontes Ap, AB, BA e Bw1, a não plástica e ligeiramente pegajosa no Bw2, Bw3 e Bw4 devido ao sutil aumento de argila em profundidade.

Faixas de fragmentos de carvão centimétricos foram observadas nos dois perfis, concentradas, aproximadamente, entre 75 e 200 cm no Perfil 1, e entre 75 e 100 cm no Perfil

2. Um esquema indicativo da profundidade dos perfis e suas respectivas faixas de carvões encontram-se na figura 3. Quantidades expressivas de carvão, ou faixas concentradas em determinadas profundidades, como encontrados nesse trabalho, apontam a ocorrência de incêndios mais severos durante alguns períodos, possivelmente, períodos pretéritos mais secos do holoceno (PESSENDA, 2004).

O Perfil 1 é muito argiloso, influência do material de origemderivado do retrabalhamento de argilitos do membro taquaral da Formação Irati com eventual contribuição de diques de rochas básicas o que explicaria a presença de magnetita neste perfil com atração magnética moderada no campo (VIDAL-TORRADO, 1994). Os teores de argila variam entre 437 $g.Kg^{-1}$ e 677 $g.Kg^{-1}$ com decréscimo em profundidade devido a proximidade do material rochoso subjacente, que reflete no aumento da fração areia (Tabela 1).

O Perfil 2 é derivado de material retrabalhado de arenitos mesozóicos e tem textura franco argilo arenosa (ou textura média), com proporções de argila que oscilaram de 126 $g.Kg^{-1}$ em superfície e 227 $g.Kg^{-1}$ em subsuperfície, e areia variando entre 807 $g.Kg^{-1}$ em superfície e 723 $g.Kg^{-1}$ em subsuperfície.

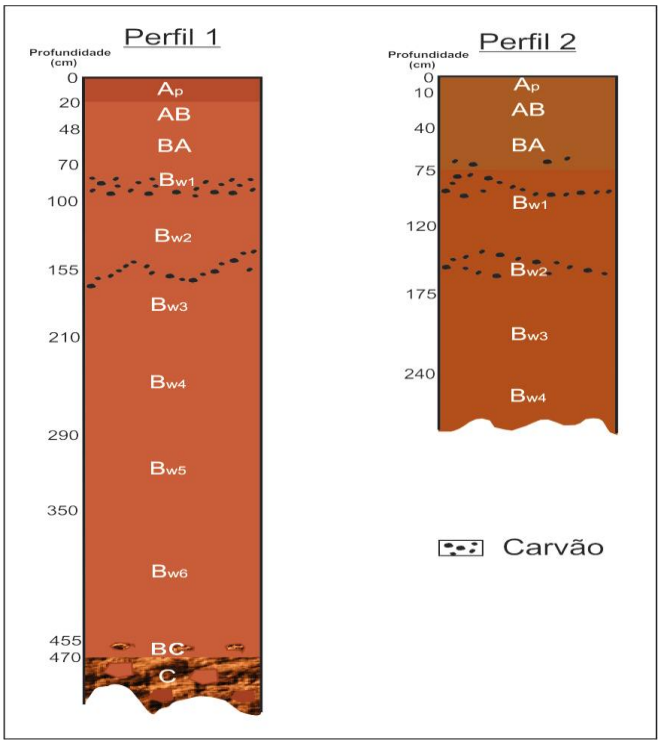


Figura 3 Esquema representativo dos horizontes dos perfis estudados e suas respectivas faixas de carvão.

Tabela 1 Atributos físicos dos perfis estudados na região de Piracicaba.

HOR	PROF (cm)	ARGILA	SILTE	AREIA
			$g.kg^{-1}$	
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico				
Ap	0-20	588	168	244
AB	20-48	581	156	263
BA	48-70	587	149	264
Bw1	70-100	612	118	270
Bw2	100-155	595	138	267
Bw3	155-210	677	83	240
Bw4	210-290	611	135	255
Bw5	290-350	547	171	281
Bw6	350-455	483	223	294
Bc	455-470	469	240	290
C	470+	437	299	264
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico				
Ap	0-10	126	67	807
AB	10-40	163	63	774
BA	40-75	189	72	739
Bw1	75-120	203	63	733
Bw2	120-175	213	57	730
Bw3	175-240	201	48	751
Bw4	240+	227	50	723

Tabela 2 Atributos químicos dos perfis estudados na região de Piracicaba – SP.

Hor (cm) Prof	pH H2O	pH KCl	Δ pH	C	Ca	Mg	K	Al	H+Al	P	SB	CTC pH 7	CTCe	Atividade da Argila	V%	m%
				g/kg			cmolc/Kg			mg/Kg						
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico																
Ap (0-20)	5,6	4,1	-1,5	12,8	0,6	0,2	0,1	1,5	6,3	0,2	0,8	7,1	2,3	12,12	11,3	65,2
AB (20-48)	6,3	4,2	-2,1	7,7	0,3	0,5	0,1	0,9	5,5	0,1	0,9	6,4	1,8	11,06	14,1	50,6
BA (48-70)	5,5	4,3	-1,2	4,2	0,3	0,1	0,1	0,8	4,5	0,0	0,4	5,0	1,3	8,45	8,5	66,2
Bw1 (70-100)	5,1	4,4	-0,7	4,5	0,3	0,1	0,0	0,7	4,4	0,1	0,4	4,8	1,1	7,86	9,0	61,1
Bw2 (100-155)	5,9	4,6	-1,3	0,6	0,4	0,1	0,0	0,3	3,9	0,0	0,6	4,5	0,8	7,52	12,4	32,7
Bw3 (155-210)	6,2	4,7	-1,5	1,6	0,2	0,1	0,0	0,2	3,6	0,0	0,3	3,9	0,5	5,79	7,6	34,9
Bw4 (210-290)	6	4,7	-1,3	1,6	0,0	0,4	0,1	0,2	2,6	0,0	0,5	3,1	0,6	5,13	15,8	23,2
Bw5 (290-350)	6,1	4,7	-1,4	2,9	0,1	0,3	0,0	0,1	2,4	0,0	0,5	2,9	0,6	5,25	15,9	17,9
Bw6 (350-455)	5,9	4,4	-1,5	2,6	0,1	0,2	0,0	0,5	2,5	0,0	0,3	2,8	0,8	5,80	10,2	63,1
BC (455-470)	5,3	4,4	-0,9	1,6	0,0	0,2	0,1	0,7	3,4	0,0	0,3	3,7	0,9	7,79	7,1	72,8
C (470+)	5,4	4,4	-1	3,2	0,0	0,2	0,1	0,7	2,8	0,0	0,3	3,1	0,9	7,15	9,2	69,7
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico																
Ap (0-10)	5,9	5	-0,9	12,8	1,7	0,7	0,1	0,0	1,9	0,7	2,5	4,4	2,5	35,21	56,2	0,4
AB (10-40)	6,2	5	-1,2	4,8	0,9	0,7	0,1	0,0	2,0	0,1	1,6	3,6	1,6	22,00	44,4	2,4
BA (40-75)	5,2	4,1	-1,1	4,8	0,1	0,1	0,1	0,9	4,7	0,1	0,2	4,9	1,2	26,05	4,5	80,7
Bw1 (75-120)	5,3	4,2	-1,1	6,4	0,3	0,1	0,0	0,8	3,2	0,1	0,5	3,7	1,3	18,10	12,5	64,5
Bw2 (120-175)	5,4	4,1	-1,3	4,8	0,2	0,2	0,0	0,7	3,0	0,1	0,5	3,5	1,2	16,45	13,4	60,1
Bw3 (175-240)	5,1	4,1	-1	5,1	0,2	0,2	0,0	0,6	2,5	0,0	0,4	3,0	1,1	14,67	14,7	58,9
Bw4 (240+)	5,1	4,2	-0,9	3,2	0,2	0,1	0,1	0,6	2,2	0,1	0,4	2,6	1,0	11,33	15,9	58,3

Considerando os atributos químicos e físicos descritos o Perfil 1 foi classificado com LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura argilosa e o Perfil 2 como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico A moderado textura média.

4.2 Feições biológicas

Ao contrastar dois solos muito diferentes em conteúdo de argila com um protocolo de análise visual, foi notada uma diferença importante na quantidade de feições biológicas, sendo mais fácil identificar essas feições no solo argiloso (figura 5). Os valores de quantificação biológica observados nos blocos e lâminas apresentaram, para ambos os perfis, um descréscimo com o aumento da profundidade. No Perfil 1 observou-se uma diminuição dos valores com importantes oscilações contidas nos primeiros três metros de profundidade do perfil, onde os valores foram de 23% no horizonte Ap, 15% no horizonte BA, passando para 26% no Bw1, decaindo para 13% no Bw3 e com um aumento de 20% no horizonte Bw4. Após essa profundidade, os valores apresentam diminuição com caráter mais uniforme, com 5% no horizonte C (Figura 4).

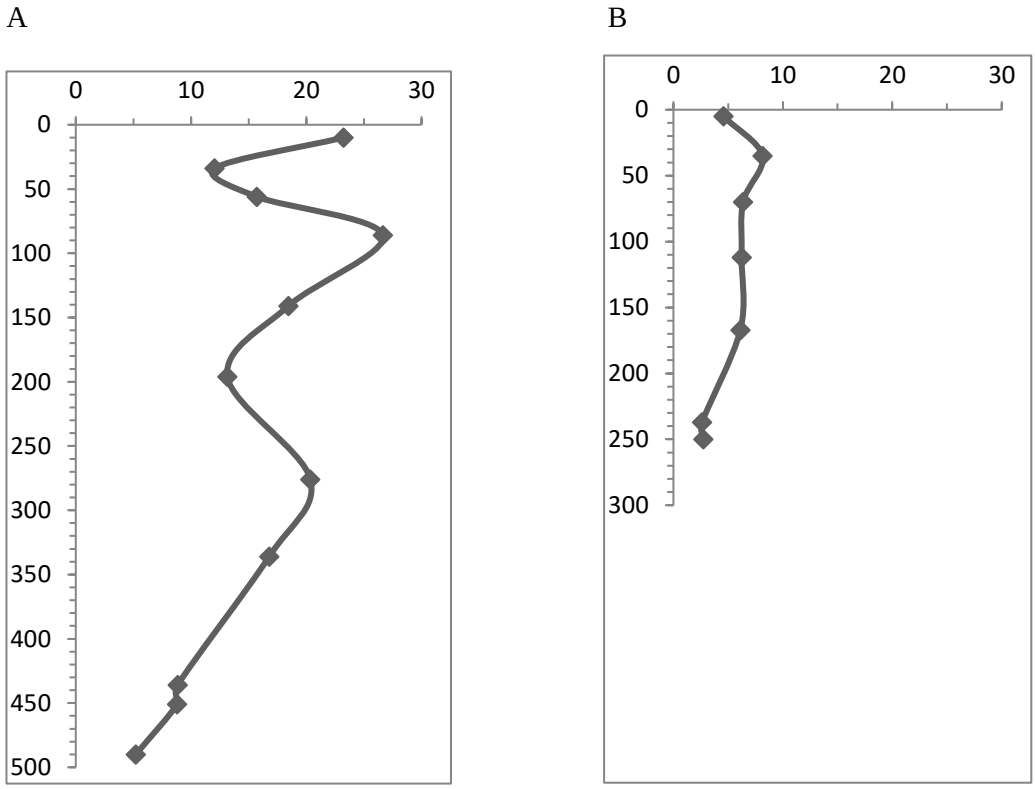


Figura 4 Valores quantificados de feições biológicas em porcentagem (%) de acordo com a profundidade dos perfis A (perfil 1) e B (perfil 2).

Os valores para o Perfil 2 demonstraram decréscimo de feições biológicas mais uniforme comparado ao Perfil 1, com 4% de feições biológicas no horizonte Ap, aumentando para 8% no AB e diminuindo linearmente nos horizontes superficiais, com 2% de valor quantificado para o horizonte Bw4 (Figura 4).

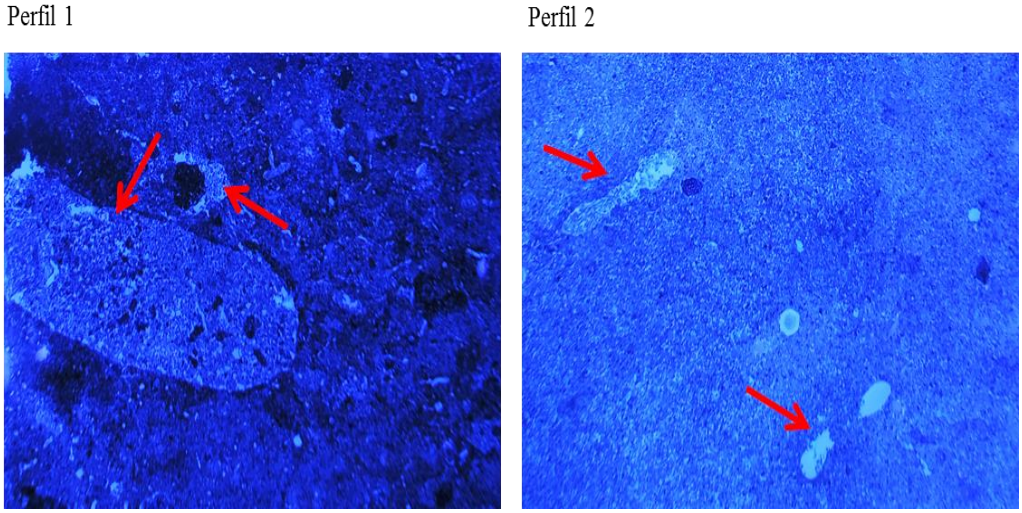


Figura 5. Imagens de blocos polidos com luz ultravioleta para visualização de feições biológicas nos perfis 1 e 2.

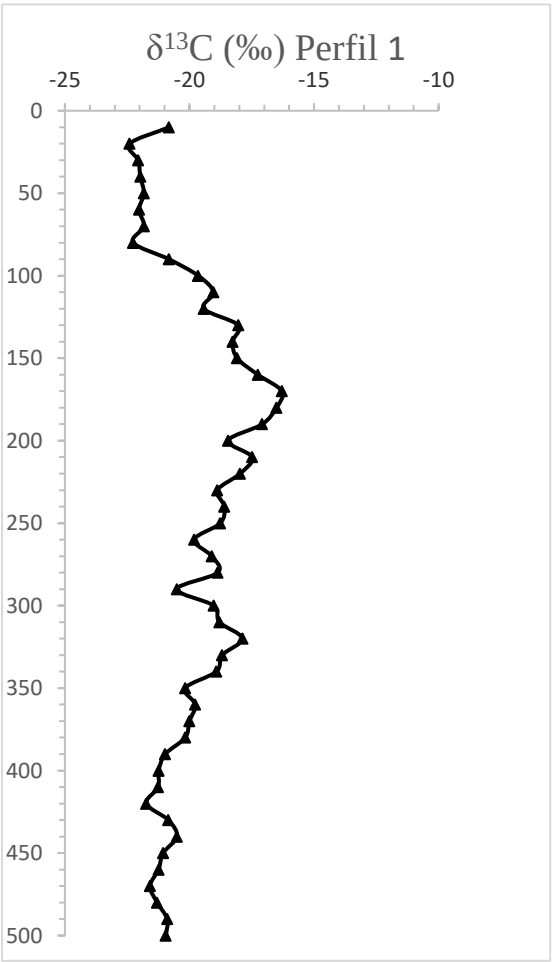
4.3 Composição isotópica da MOS e COT (%)

A amplitude dos valores isotópicos da matéria orgânica do solo (MOS) (Figura 6) variou entre -16,2‰ (170 cm) e -22,25‰ (80 cm) no Perfil 1, indicando que o solo estudado sempre esteve submetido a uma cobertura vegetal composta pela mistura de plantas do ciclo fotossintético C_3 e C_4. Da base para o topo do perfil, entre 500 cm e 200 cm de profundidade, o sinal isotópico apresentou variações de -20,94‰ (500 cm) e -18‰ (200 cm), apontando mistura de plantas do ciclo C_3 e C_4 predomínio de plantas C_3

A partir de 200 cm, observa-se uma pequena tendência de enriquecimento isotópico de -17,07‰ que se mantém até 110 cm com sinal de -19,03‰. Esse enriquecimento demonstra da base para o topo, uma participação mais efetiva de plantas do ciclo C_4, sinalizando uma possível abertura na vegetação. Entre 100 cm ate 20 cm de profundidade, o sinal da composição isotópica demonstra um empobrecimento, com valores entre -19,65‰ e -22,40‰, respectivamente, marcando a contribuição de plantas do ciclo C_3. Os valores isotópicos dos primeiros 20 centímetros do solo remetem ao uso atual da terra, caraterizado pelo plantio de cana-de-açúcar.

O Perfil 2, embora apresente menores oscilações na composição isotópica em profundidade também apresentou valores que caracterizaram a vegetação mista de plantas C_3 e C_4 com valores de -15,51‰ (10 cm) e -24,58‰ (100 cm) ao longo do perfil. Partindo da base para o topo do perfil, entre as profundidades de 400 cm e 320 cm, os valores isotópicos foram de -21,15‰ (400 cm) e -21,88‰ (320 cm), sinalizando a vegetação mista de ciclo C_3 e C_4, predomínio de plantas C_3.

Entre 300 cm, observa-se um empobrecimento isotópico de -22,01‰ que se mantém até a profundidade de 50 cm, com sinal de -23,51‰, indicando uma contribuição mais efetiva de plantas do ciclo C_3, ou seja, uma vegetação mais densa. A partir de 40 cm, até a superfície do perfil, notou-se um enriquecimento da composição isotópica de -22,58‰ (40 cm), para -15,51‰ (10 cm). Tal enriquecimento em superfície sinaliza a entrada das atividades antrópicas na área, que atualmente vem sendo utilizada para pastagem.



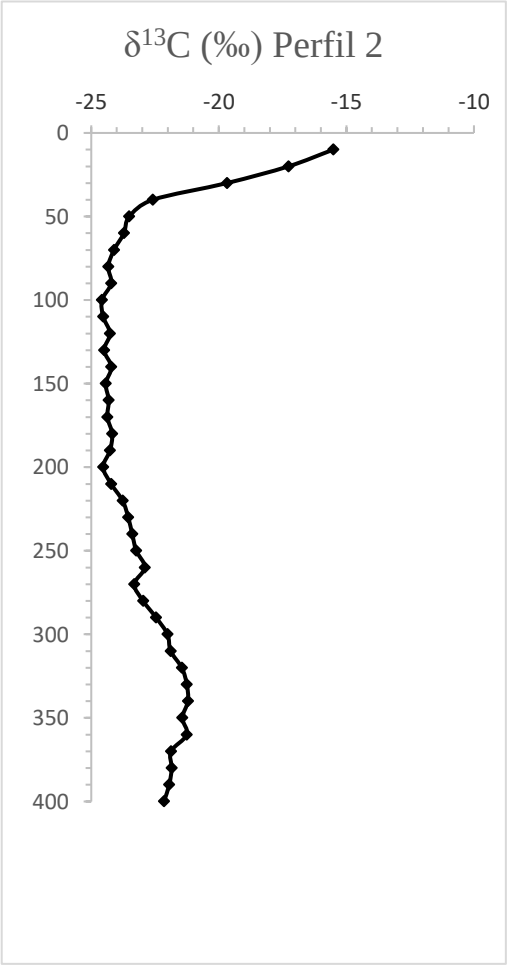


Figura 6 Variação de $\delta^{13}C$ em relação a profundidade dos perfis estudados, expressos em (‰).

Em ambos os perfis, a porcentagem de carbono orgânico total (COT) apresentou comportamento descrescente do topo para a base, condição comum em solos temperados, e principalmente em solos tropicais (Boutton, 1996). O Perfil 1, apresentou percentuais que variaram de 0,08% em subsuperfície à 0,8% nas amostras mais superfíciais. O Perfil 2 partindo da base para o topo, apresenta um pequeno aumento progressivo de 0,9% para 1,39% (Figura 7).

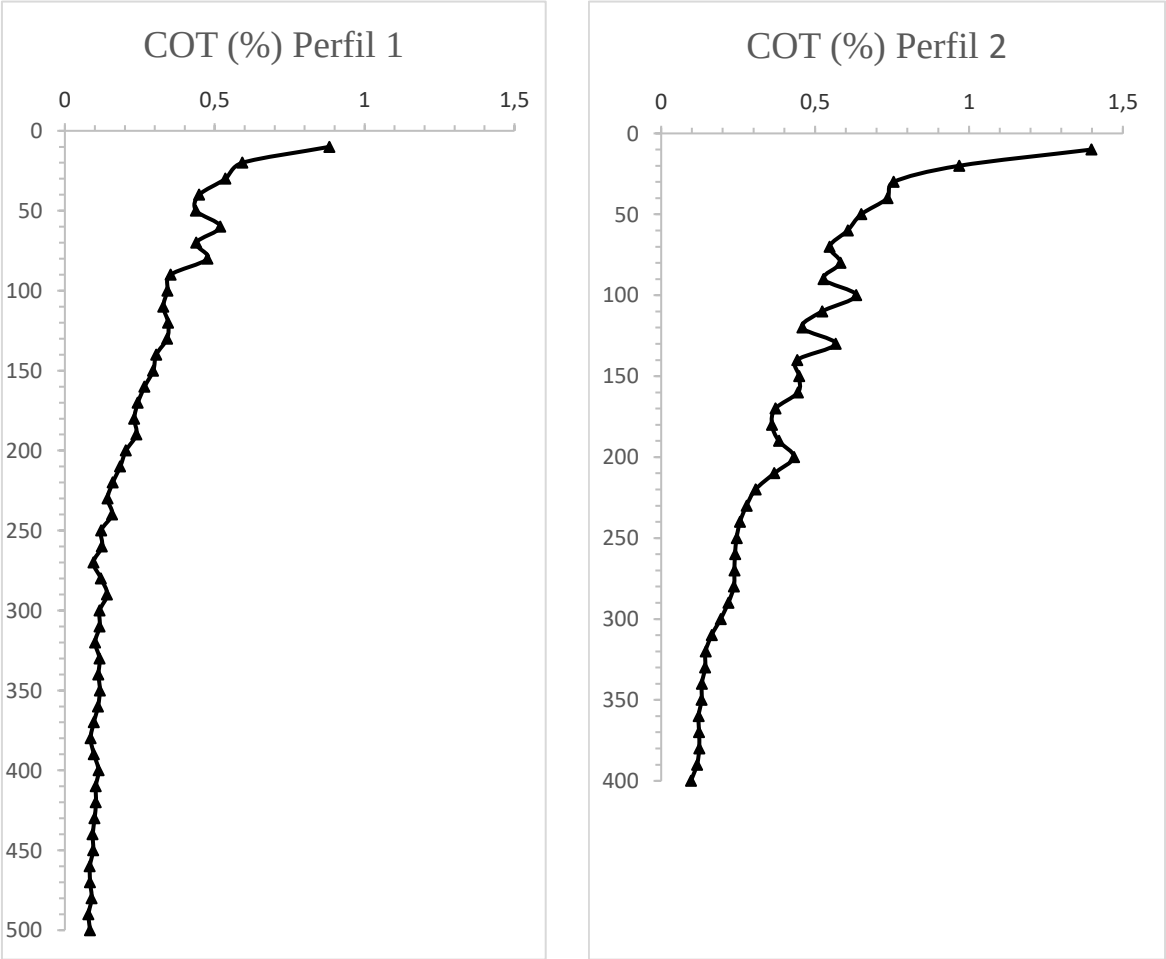


Figura 7 Carbono orgânico total ao longo dos perfis estudados na região de Piracicaba – SP.

4.4 Assembleia Fitolítica do Solo

A assembleia de fitólitos do Perfil 1 é composta por 30 morfotipos diferentes, que foram organizados em quatro categorias (Figura 8). A quantidade de fitólitos por grama de FIA diminui em profunfidae, com redução drástica observada a partir dos 120 cm de profundidade até o desaparecimento total dos morfotipos identificado com significado taxonômico.

A assembleia do Perfil 1, oganizada em quatro categorias, apresentou variações em sua composição e distribuição ao longo do perfil (Figura 9). A amostra de 0-10 cm, que compreende a assembleia fitolítica do uso atual da terra, não pode ser usada como parâmetro de comparação na reconstituição paleoambiental, pois não representa a vegetação natural que recobria a reagião, a Floresta Estacional Semidecidual. Esta amostra corresponde à assinatura da cana-de-açúcar que vem sendo cultivada na área

Em média, os percentuais de distribuição não apresentam variações discrepantes, matendo certa tendência com 47,6% de participação de morfotipos de Eudicotiledoneae, 27,4% de Poaceae, 22,1% de Arecaceae e 0,2% de Cyperaceae, corroborando os dados isotópicos que indicaram vegetação composta pela mistura de plantas do ciclo C_3 e C_4 (vegetação mista) (Apêndice 2).

O Perfil 2, apresentou uma assembleia fitolítica mais simples, composta por 21 morfotipos diferentes (Figura 10), agrupadas em três categorias (Figura 11). Apresentou distribuição dos morfotipos ao longo do perfil semelhante à observada no Perfil 1 conforme observado na Figura 9. A amostra que corresponde aos primeiros centímetros do solo registra a assembleia fitolítica atual, referente à pastagem, marcando a interferência da atividade antrópica. Ao longo do perfil, a maior frequencia corresponde aos morfotipos produzidos por plantas de hábito arbório e arbustiva, pertencentes a classe das Eudicotiledoneae, com participação média de 76,9% na composição da assembleia, seguido daqueles produzidos pelas plantas das famílias Poaceae (16,6%) e Arecaceae (3,3%) (Apêndice 2).

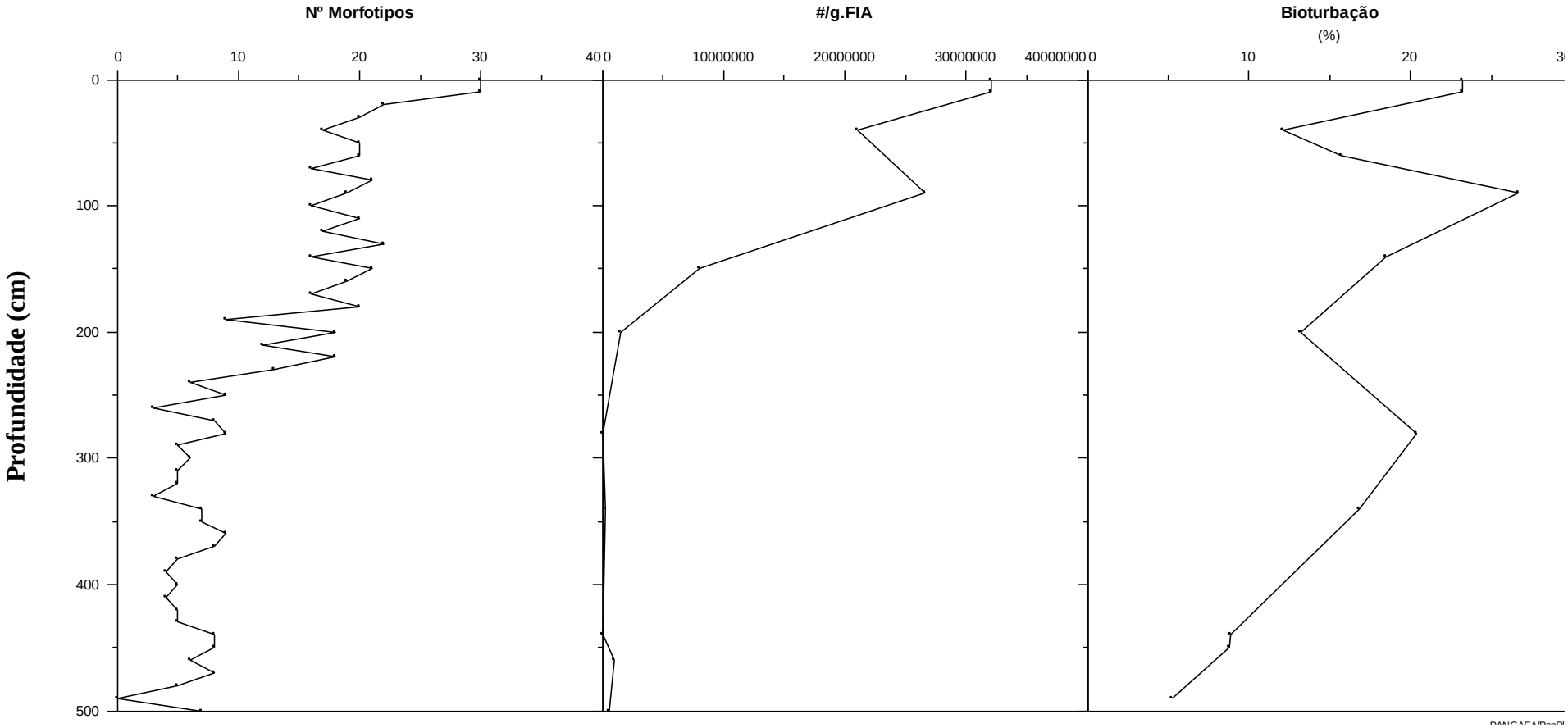


Figura 8 Distribuição da quantidade de morfotipos, número de fitólitos por grama de FIA (#) e da bioturbação em profundidade nos perfis estudados.

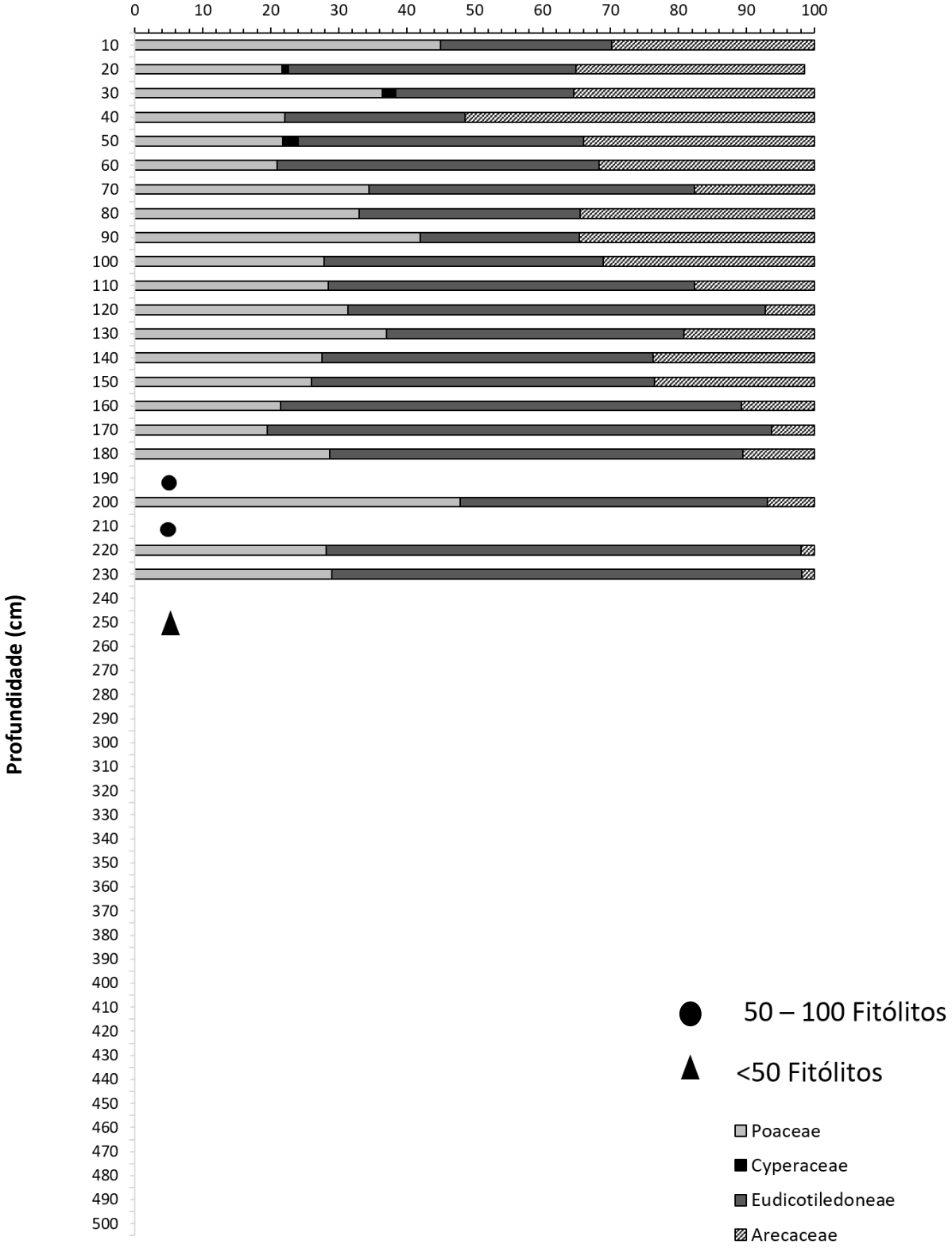


Figura 9 Distribuição das principais categorias de fitólitos por subfamília do Perfil 1.

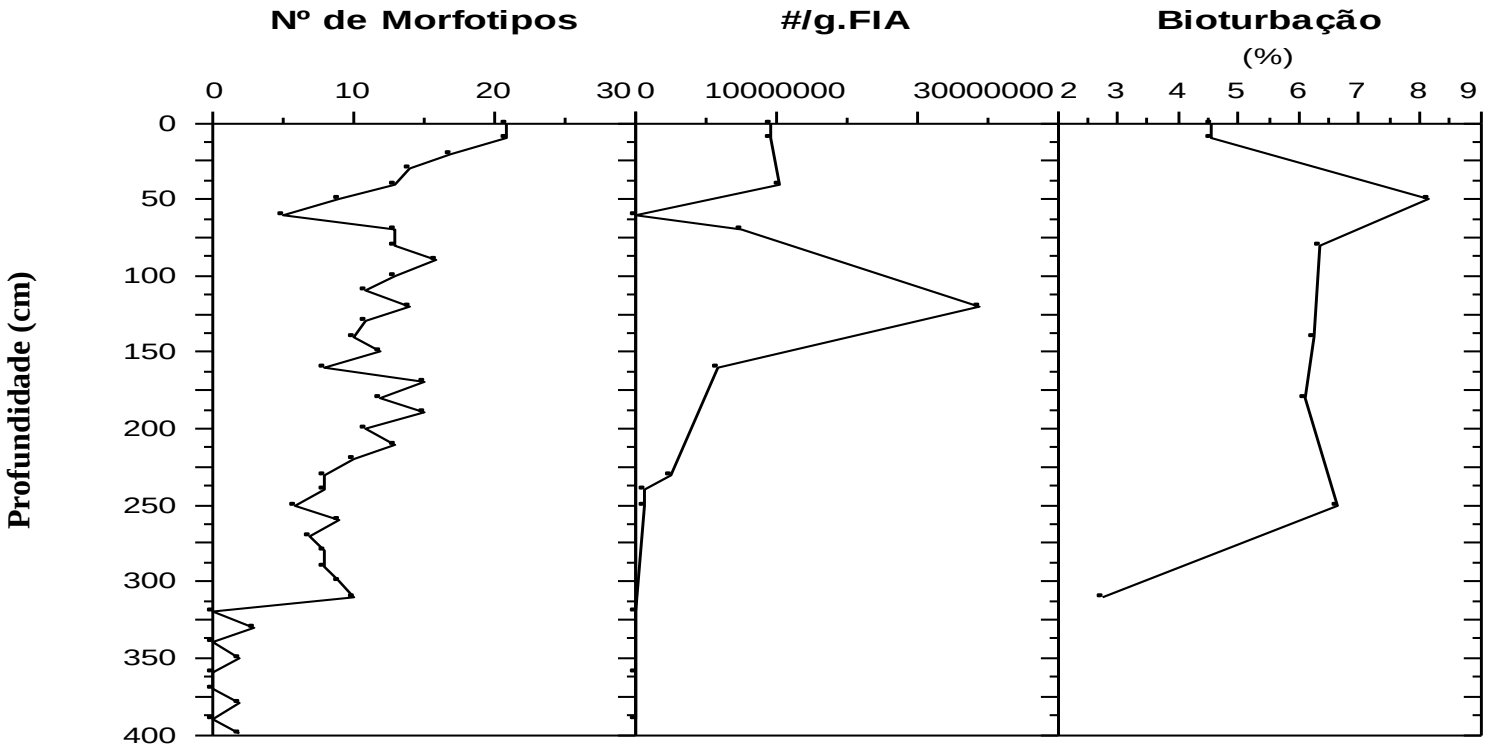


Figura 10 Distribuição da quantidade de morfotipos, quantidade de fitólitos por grama de FIA e da bioturbação em profundidade do Perfil 2.

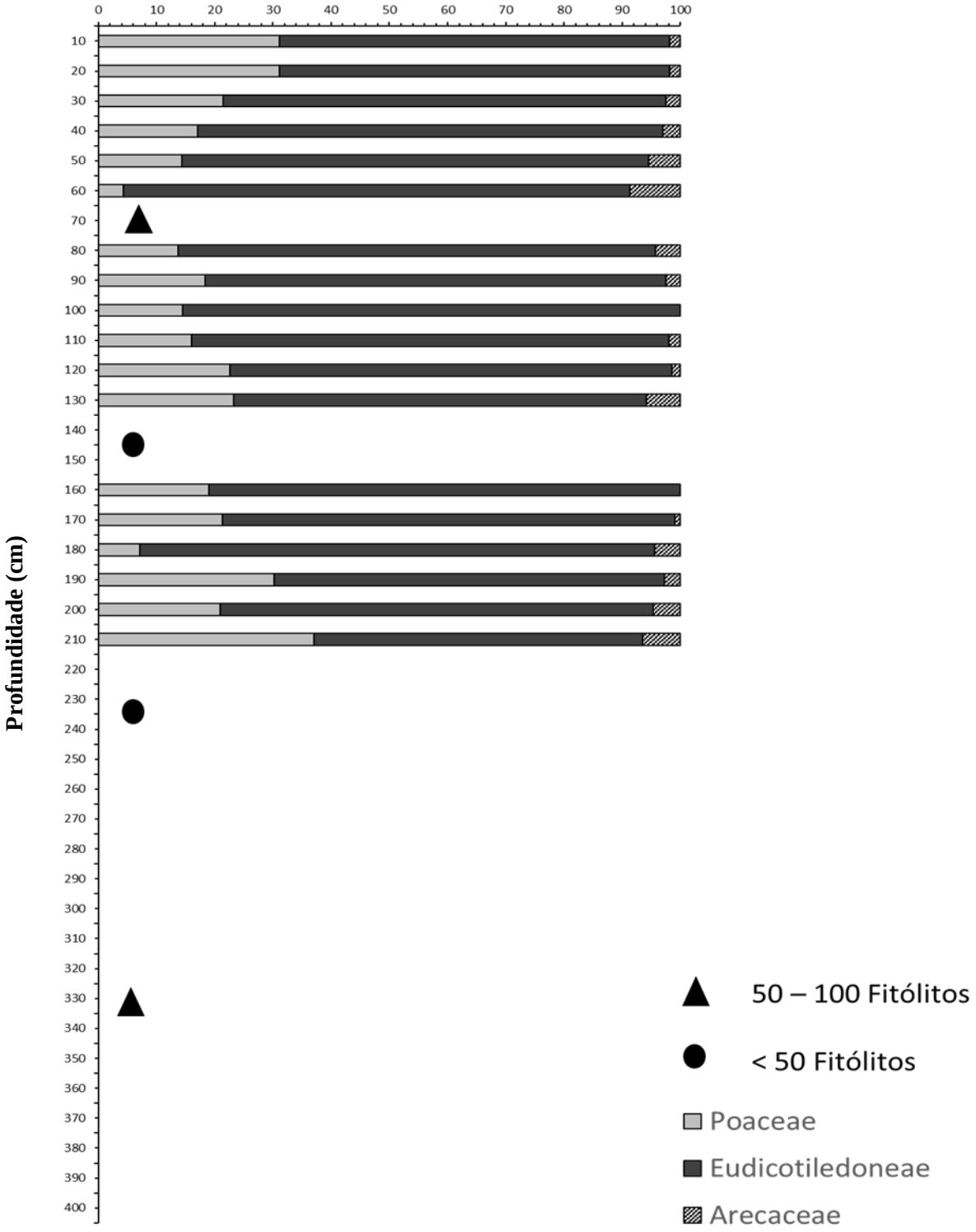


Figura 11 Distribuição das principais categorias de fitólitos por subfamílias do Perfil 2

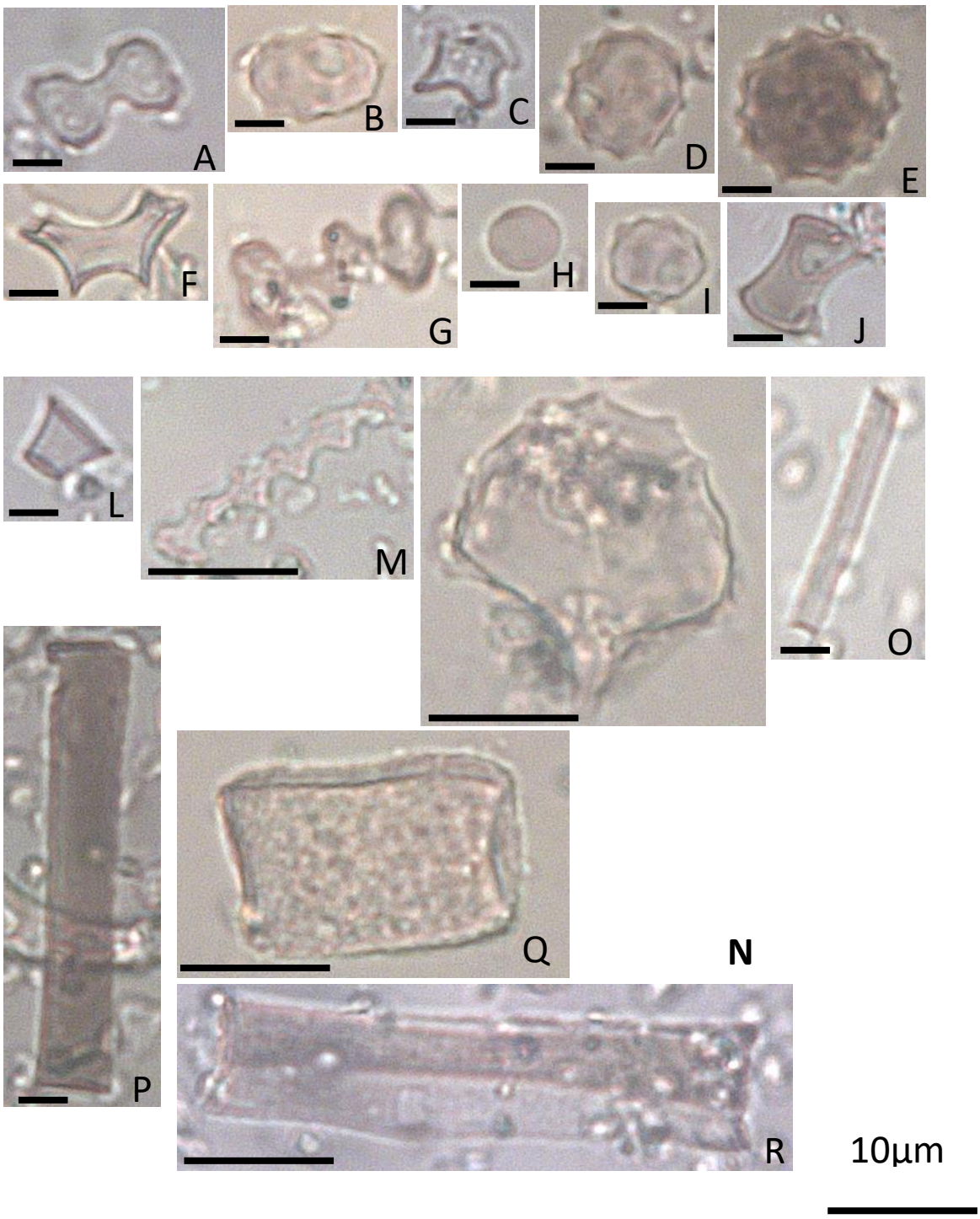


Figura 12. Fotomicrografia dos morfotipos de fitólitos encontrados no Perfil 1. As fotos foram tomadas em aumento de 400x. a) bilobate; b) hat shaped echinate base; c) cross; d,e) globular echinate; f) trapeziform bilibate echinate; g) polylobate; h) globular psilate; i) globular rugose; j) saddle; l) rondel; m) elongate sinuate; n) cuneiforme bulliform cell; o) elongate psilate; p) tabular psilate; q) block polygonal; r) tabular thinck**.**

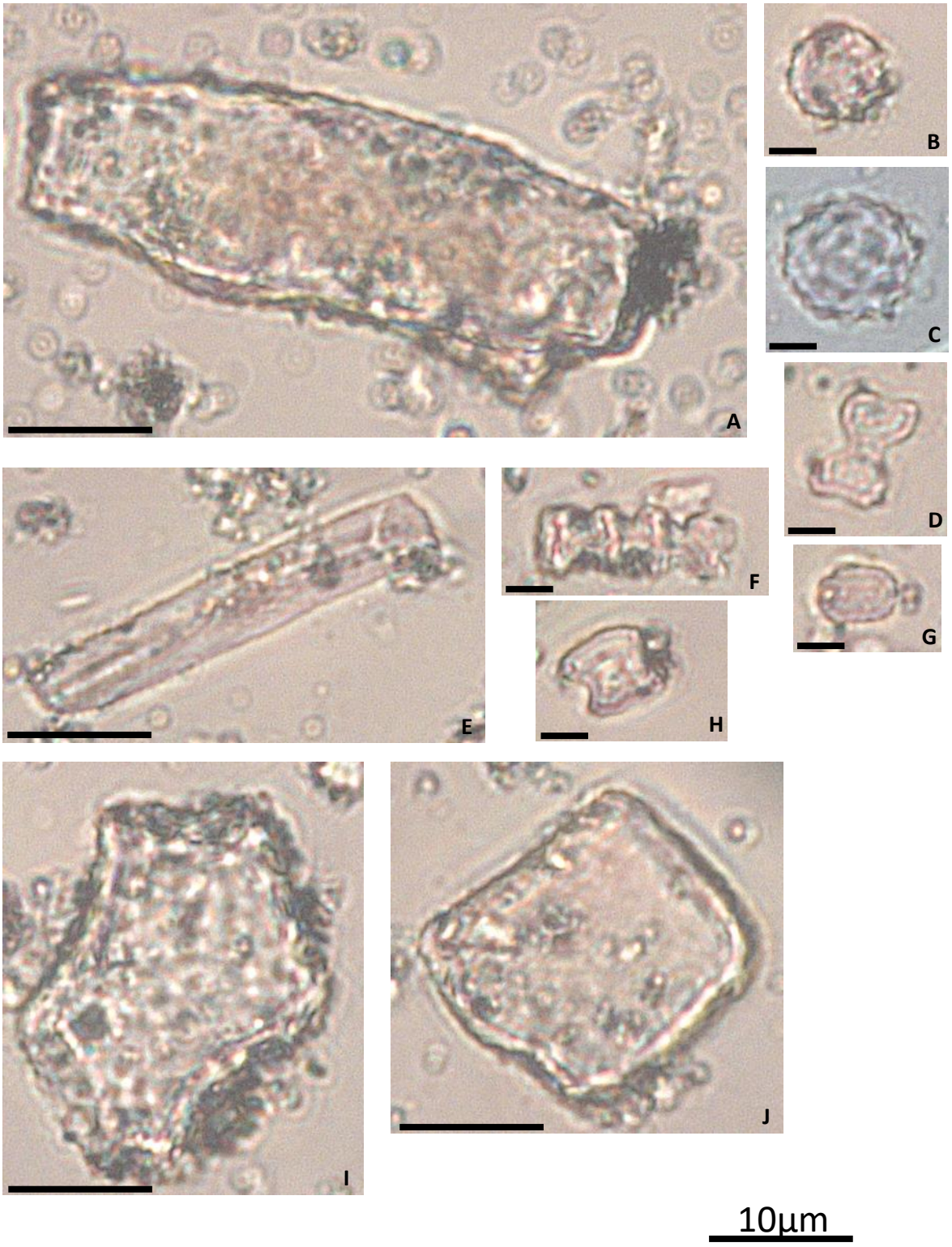


Figura 13. Fotomicrografia de fitólitos encontrados no Perfil 2. As fotos foram tomadas em aumento de 400x. a) elongate b) globular granulate; c) globular echinate; d) bilobate; e) tabular thinck; f) elongate sinuate; g) elipsoidal rugose; h) saddle; i) block; j) block polygonal.

4.5. Análise Multivariada

4.5.1. Análise de componentes principais - ACP

No Perfil 1 a ACP foi realizada com 20 amostras, referente as profundidades entre zero e 230 cm de profundidade De acordo com os resultados as quatro primeiras componentes respondem por 74% da variância entre as amostras. A PCA-Eixo 1 representa 39% da variância total entre as amostras, e de acordo com a distribuição das variáveis nos quadrantes, foi possível determinar que a PCA-Eixo 1 retrata a variação de temperatura. A PCA-Eixo 2 (que representa as variações de umidade) reponde por 10% da variância total, e de acordo com a distribuição das variáveis nos quadrantes, esta PCA retratou a variação de umidade. A PCA-Eixo 3 responde por 12% e a PCA-Eixo 4 por 11,9% da variância.

O Eixo 1 é definido, no quadrante positivo pelas variáveis: Arecaceae, Panicooid, Chloridoid e Cyperaceae, e no quadrante negativo por: Eudicotiledoneae, tafonomizados e valor $\delta^{13}C$. No Eixo 2 o quadrante positivo é definido por: Eudicotileoneae, Cyperaceae e Pooid, e no quadrante negativo é definhado por: Bulliform, Bioturbação e Bambusoid. (Figura 14).

No Perfil 2, as quatro primeiras componentes respondem por 79% da variância entre as amostras. A PCA-Eixo 1 responde por 46,7%, a PCA-Eixo 2 por 7,9%, a PAC-Eixo 3 responde por 13,9% e a PCA-Eixo 4 por 10,5%.

O Eixo 1 é definido no quadrante positivo pelas variáveis: Panicoid, Hair, Tafonomizados e Pooid e no quadrante negativo por: Bioturbação, Eudicotiledoneae, Arecaceae e Chloridoid. No Eixo 2 o quadrante positivo é definido por: Eudicotiledoneae, Fitólitos Tafonomizados e $\delta^{13}C$ e o quadrante negativo é definido pelas variáveis: Pooid, Buliform, Bioturbação e Arecaceae (Figura 14)

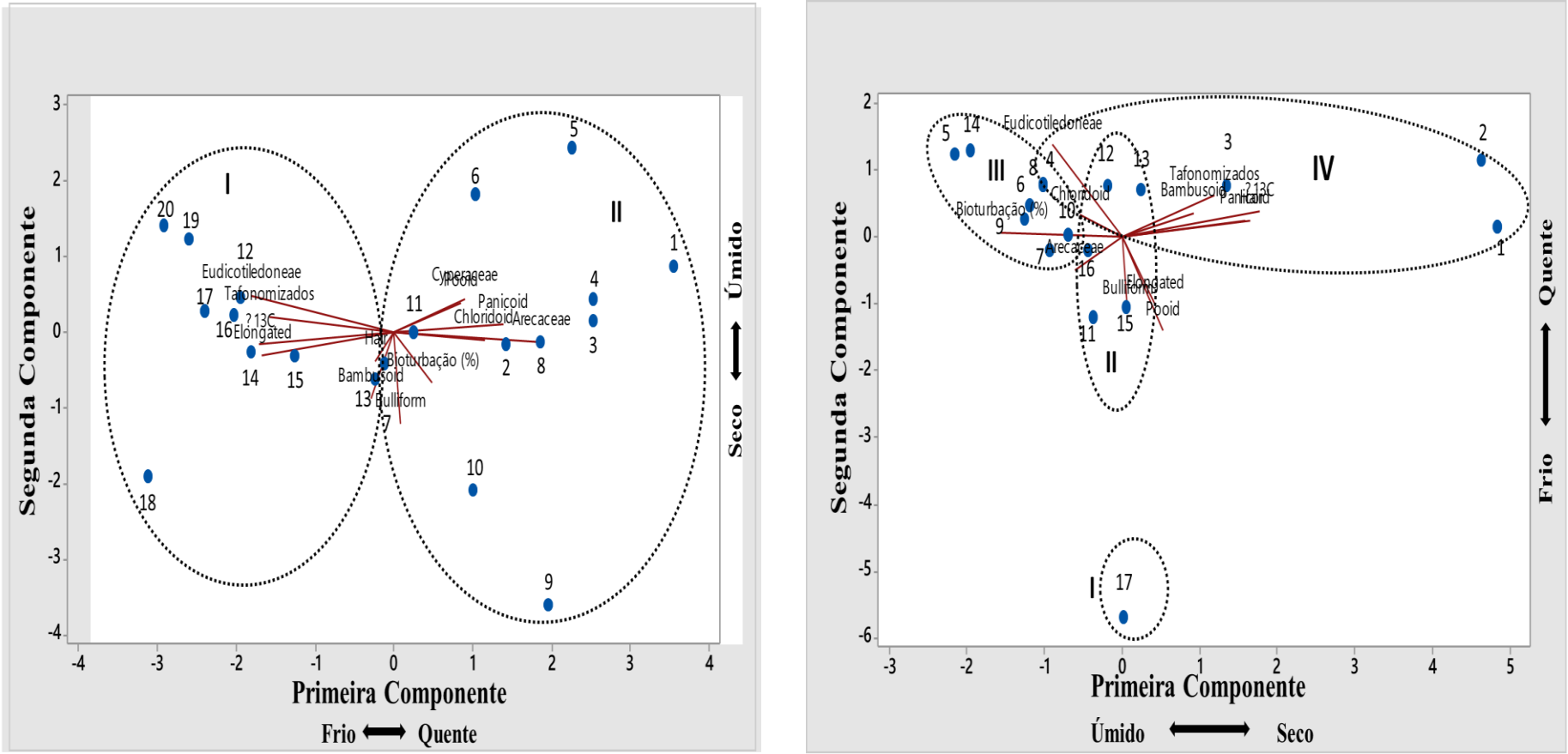


Figura 14 Análise de Componentes Principais (PCA) das assembleias de fitólitos (em porcentagem) das amostras dos perfis 1 e 2.

4.5.2. Análise Agrupamento Hieráquico- Cluster

No Perfil 1, os resultados da análise de agrupamento hierárquico permitiram identificar a formação de dois grandes grupos estatísticos, de acordo com a similaridade dos dados fitolíticos, à exceção da amostra 1 (0-10 cm) que se isolou como um subgrupo dentro do agrupamento II, e que representa a máxima diversidade de morfotipos desse perfil. Este agrupamento reúne as amostras superficiais e aquelas até 110 cm de profundidade correspondendo aos horizontes Ap, AB, BA e Bw1. Este agrupamento concentra as amostras acima da primeira faixa de carvão observada neste perfil a aproximadamente 150 cm. A assembleia das amostras deste agrupamento é composta por mofotipos de plantas mais adaptadas a condições ambientais quentes e úmidas. O agrupamento I reúne amostras de horizontes pedogeneticamente mais evoluídas e mais profundass nos perfis (Bw2 e Bw3) entre 120 e 200 cm de profundidade, localizados entre a primeira e a segunda faixa de carvão. A assembleia fitolitíca deste agrupamento é composta por mofotipos de plantas mais adaptadas a condições de regime mais frio e mais úmido que as do agrupamento II (Figura 15).

Para o Perfil 2, a análise de agrupamento hierárquico possibilitou a identificação de quatro grupos, de acordo com a similaridade das assembleias fitolíticas. O agrupamento IV reúne as amostras superficiais de 0 a 40 cm (horizontes Ap e AB), a assembleia das amostras deste agrupamento é composta por morfotipos produzidos por plantas mais adaptadas a condições ambientais quentes e secas. O agrupamento III abrange as amostras de 50 cm a 100 cm, e a assembleia fitolítica é composta por mofotipos de plantas mais adaptadas a regime mais quente e mais úmido que o agrupamento IV. O agrupamento II compreende as amostras de 110 a 160 cm que correspondem aos horizontes Bw1 e Bw2. A assembleia das amostras deste agrupamento é composta por mofotipos de plantas mais adaptadas a condições de ambiente mais quente e mais úmido (Figura 15), com oscilações para clima mais frio que o agrupamento III. O agrupamento I abrange apenas a amostra 17 que se isolou das demais amostras, correspondendo ao horizonte mais evoluído pedogenéticamente Bw2, sua assembleia fitolítica é composta por plantas mais adaptadas a condições de umidade e temperatura mais fria.

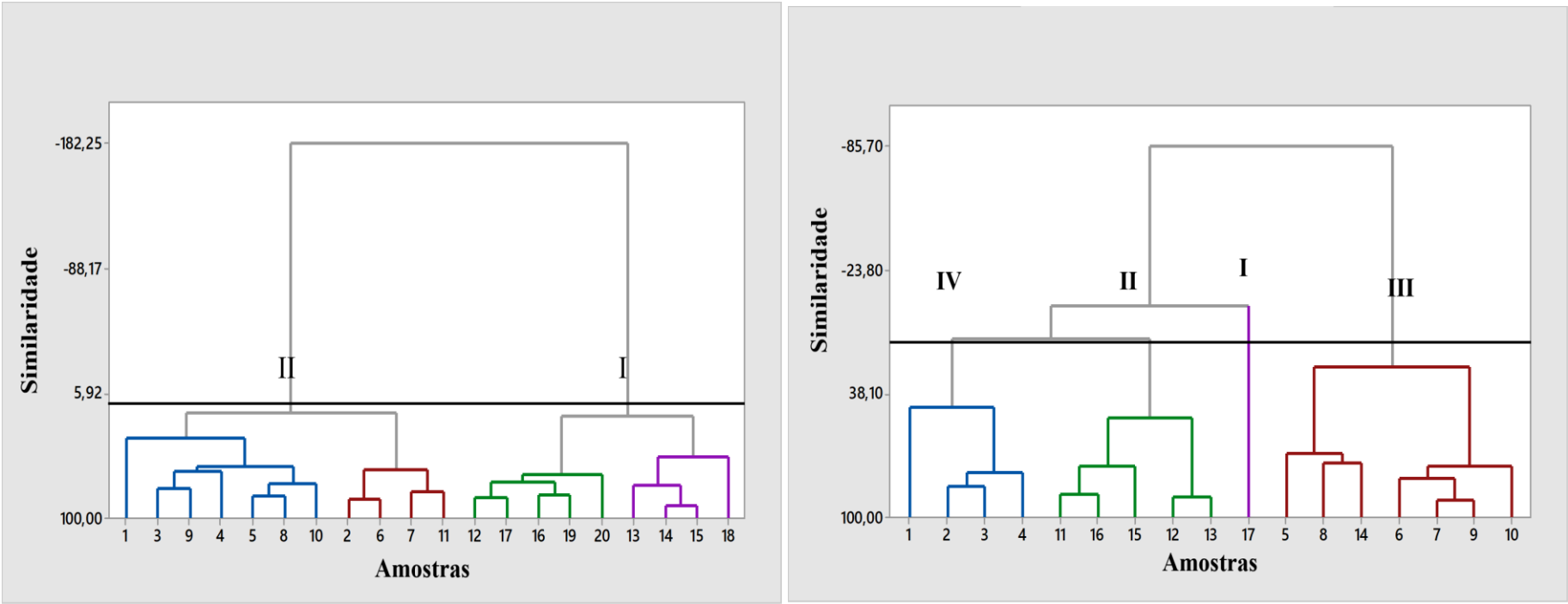


Figura 15 Análise de Agrupamento Hierárquico através do método Ward nas amostras ≥ 100 fitólitos (Perfil 1, 0 – 20 cm) (Peril 2, 0 - 170 cm).

4.6. Evolução das condições Ambientais e seu reflexo na vegetação e na assembleia de fitólitos nos solos

De acordo com a análise de agrupamento hierárquico, foram estabelecidas duas zonas ambientais para o Perfil 1 (Figura 16 e 17), e quatro zonas para o Perfil 2 (Figura 18 e 19). A datação não foi realizada, impossibilitando estabelecer a cronologia dos eventos, no entanto, as zonas ambientais permitiram a interpretação de mudança estrutural na vegetação, porém, estas mudanças não significam mudança do tipo de vegetação, pois de acordo com os resultados, a área dentro das sessões estudadas, os solos sempre estiveram sob floresta, com predomínio de plantas do ciclo fotossintético C_3 ao longo dos perfis.

PERFIL 1

O horizonte Ap foi agrupado pela estatística na zona ambiental II, no entanto sua assembleia fitolítica é reflexo das atividades antrópicas no local, que neste perfil caracteriza-se como plantio de cana de açúcar. Analisada separadamente, a assembleia é composta por 22,7% de Poaceae (soma de Panicoid, Pooid, Chloridoid e Bambusoid), 33,8% de Eudicotiledoneae e 31,7% de Arecaceae (Apêndice B).

Zona Ambiental I: agrupa as amostras da base do perfil (200 - 110 cm), correspondentes aos horizontes Bw4, Bw3 e Bw2. A assembleia fitolítica dessas amostras é composta em média por 2,16% de morfotipos de gramíneas com significado taxonônimco (Panicoid, Pooid, Chloridoid e Bambusoid). Os morfotipos produzidos por Eudicotiledoneae representam 58,3% e 12,25% de Areaceae. Os valores médios para os índices fitolíticos da zona foram 3,37% de D/P, 0,7% de Iph, 0,1% d Ic e 0,9% de FS.

Zona Ambiental II: agrupas as amostras superficiais do perfil (110 - 0 cm), correspondentes aos horizontes Bw1, BA e AB e Ap. Com uma assembleia composta por 33,78% de Poaceae, 36,58% de Eudicotiledoneae e 33,78% de Arecaceae. Os índices representam 2,28% de D/P, 0,4% de Iph, 0,2% de Ic e 0,03% de FS (Figura 14 e 15).

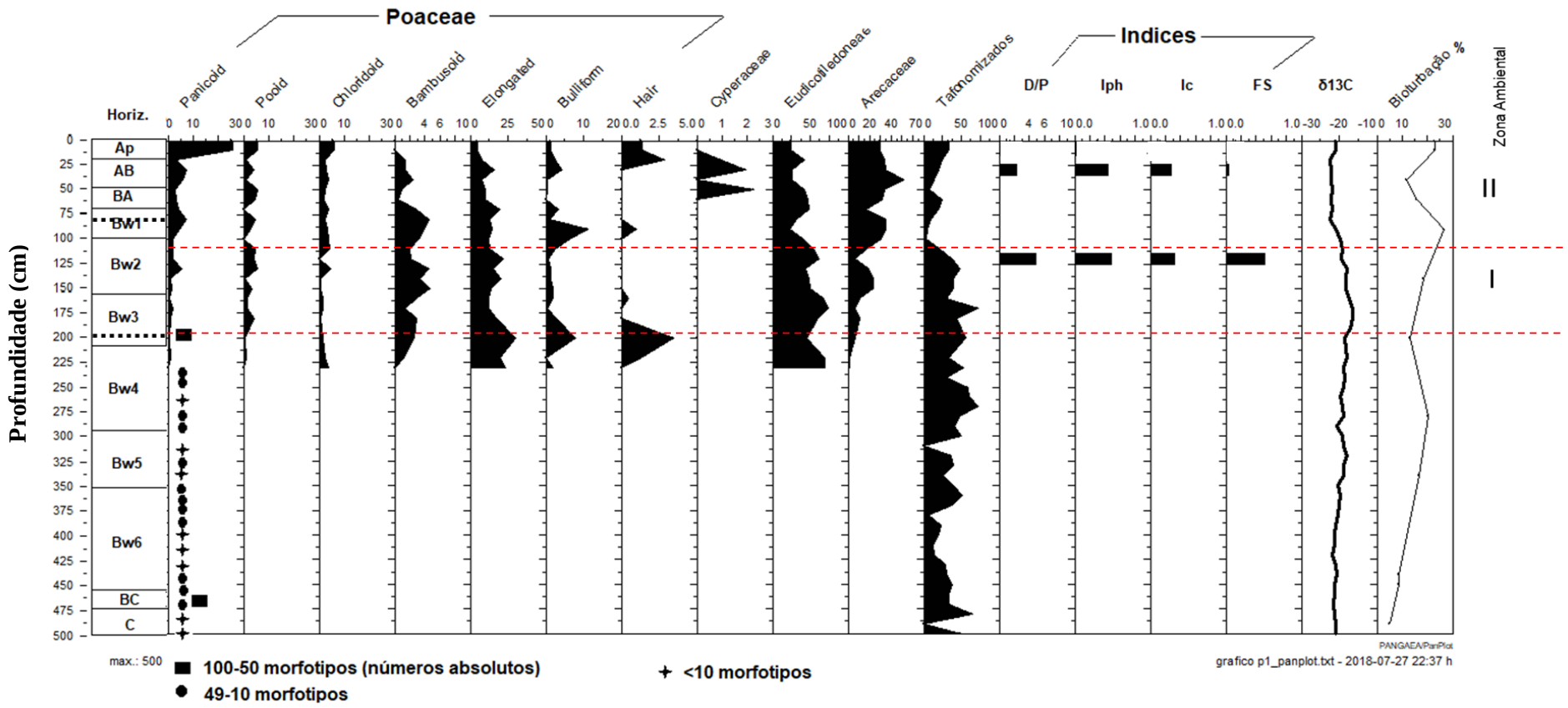


Figura 16 Distribuição da assembleia fitolítica do Perfil 1. Índices fitolíticos: D/P= Relação dicotiledôneas (globular) por *Poaceae (Pooideae, Chrolidoideae, Panicoideae,* trichomes e bulliforms) (Alexandre et al, 1997) Iph (%)= índice de aridez (Dester-Haas; Schrader; Thiede, 1973) Ic (%)= índice climático (Twiss, 1987)

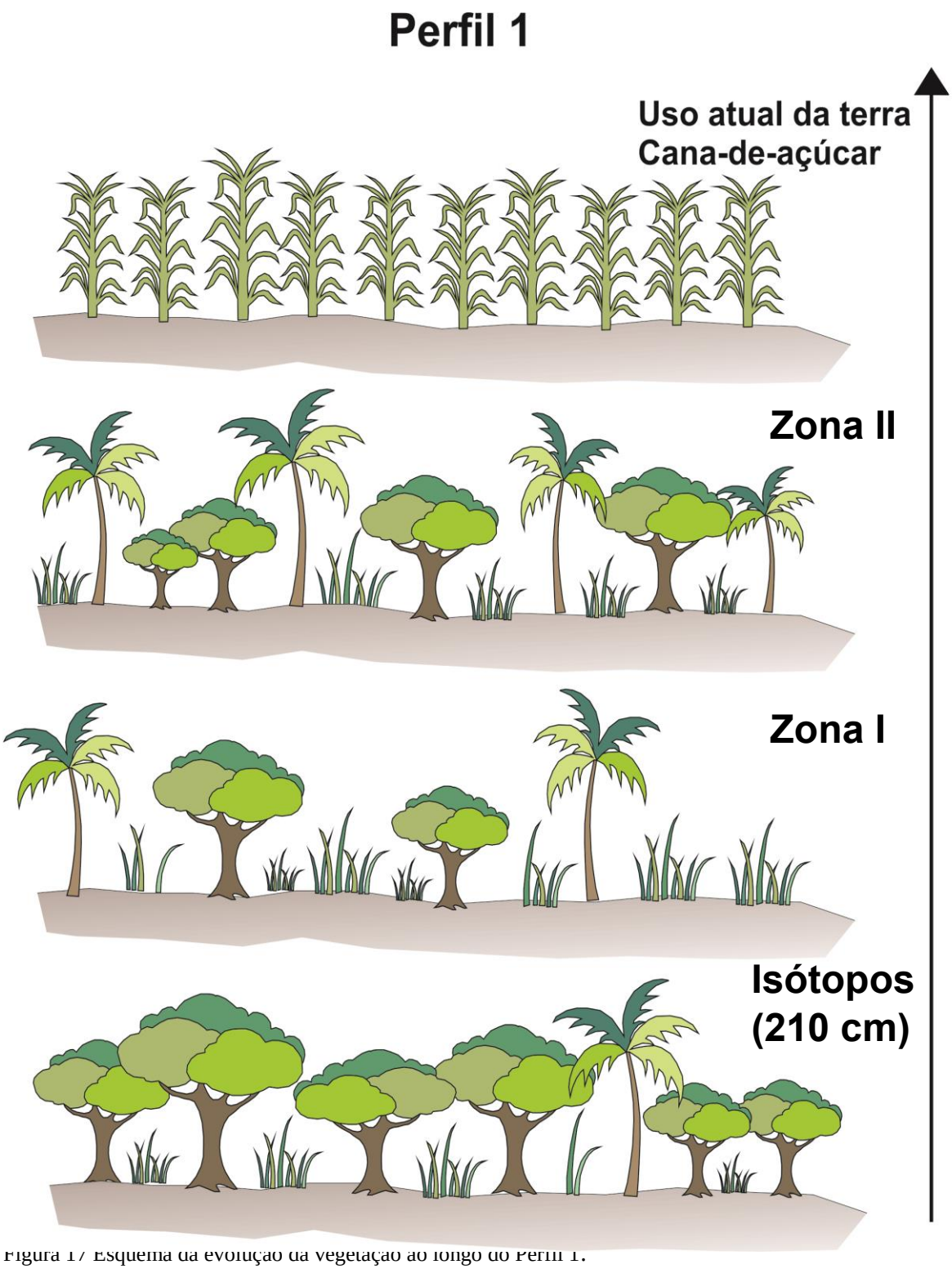


Figura 17 Esquema da evolução da vegetação ao longo do Perfil 1.

PERFIL 2

O horizonte Ap foi agrupado pela estatística na zona ambiental IV, no entanto sua assembleia fitolítica é reflexo das atividades antrópicas no local, que neste perfil caracteriza-se como pastagem. Analisada separadamente, a assembleia é composta por 11,71% de Poaceae (soma de Panicoid, Pooid, Chloridoid e Bambusoid), 67,12% de Eudicotiledoneae e 1,23% de Arecaceae (Apêndice B).

Zona Ambiental I: esta zona agrupou somente a amostra 17 (200-190 cm), que corresponde ao horizonte Bw3. A assembleia é composta por valores médios de 4,84% de Poaceae (somadas às subfamílias Panicoid, Pooid, Chloridoid e Bambusoid), 56,5% de Eudicotiledeoneae e 6,5% de Arecaceae. Os valores dos índices fitolíticos respondem por 67 de D/P, e zero para os demais (Iph, Ic e FS)

Zona Ambiental II: agrupa as amostras de subsuperfície (190-110 cm), que correspondem aos horizontes Bw2. A assembleia é composta por valores médios de 1,88% de Poaceae (somadas as subfamílias Panicoid, Pooid, Chloridoid e Bambusoid), 74,24% de Eudicotiledoneae e 2,8% de Arecaceeae. Os valores de índices fitolíticos respondem por 15,67 de D/P, 0,63% de Iph, 0% de Ic e 1,25% de FS.

Zona Ambiental III: agrupas as amostras (110-50 cm), correspondentes aos horizontes Bw1 e BA. Constitui uma assembleia fitolítica de 1,33% de Poaceae (Panicoid, Pooid, Chloridoid e Bambusoid), 82,22% de Eudicotiledoneae e 3,38% de Arecaceae. Os valores médios dos índices correspondem a 16,69 de D/P, 0,11% de Iph, 0,11% de Ic e 0,69% de FS.

Zona Ambiental IV: agrupas as amostras superficiais (50-0 cm), correspondendo ao horizonte AB. Assembleia fitolitica composta de 3,68% de Poaceae (Panicoid, Pooid, Chloridoid e Bambusoid), 78,64% de Eudicotiledoneae, e 4,29% de Arecaceae. Em média, os valores dos índices são de 5,97 de D/P, 0 de Iph, 0,09% de Ic e 0,68% de FS (Figura 16 e 17).

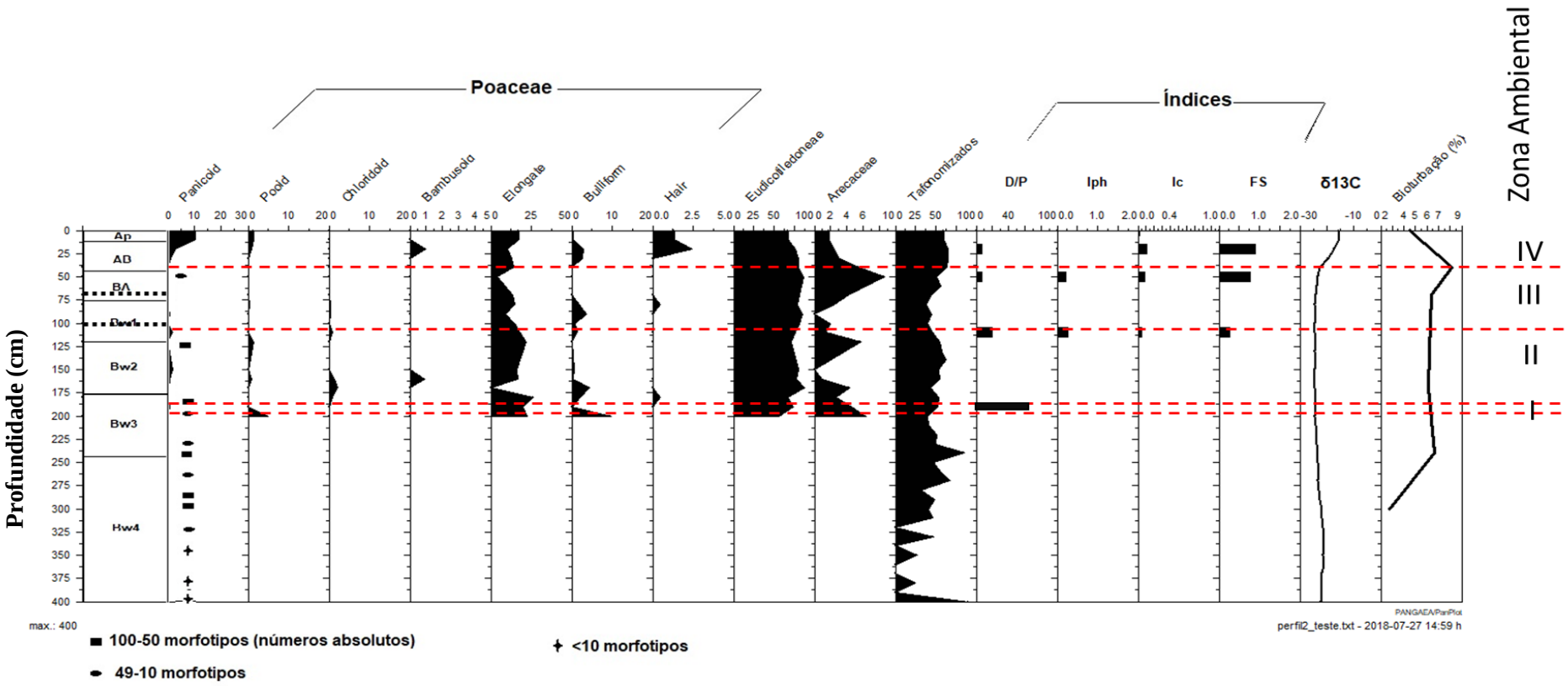


Figura 18 Distribuição da assembleia fitolítica do Perfil 2. Índices fitolíticos: D/P= Relação dicotiledôneas (globular) por *Poaceae (Pooideae, Chrolidoideae, Panicoideae,* trichomes e bulliforms) (Alexandre et al, 1997) Iph (%)= índice de aridez (Dester-Haas; Schrader; Thiede, 1973) Ic (%)= índice climático (Twiss, 1987).

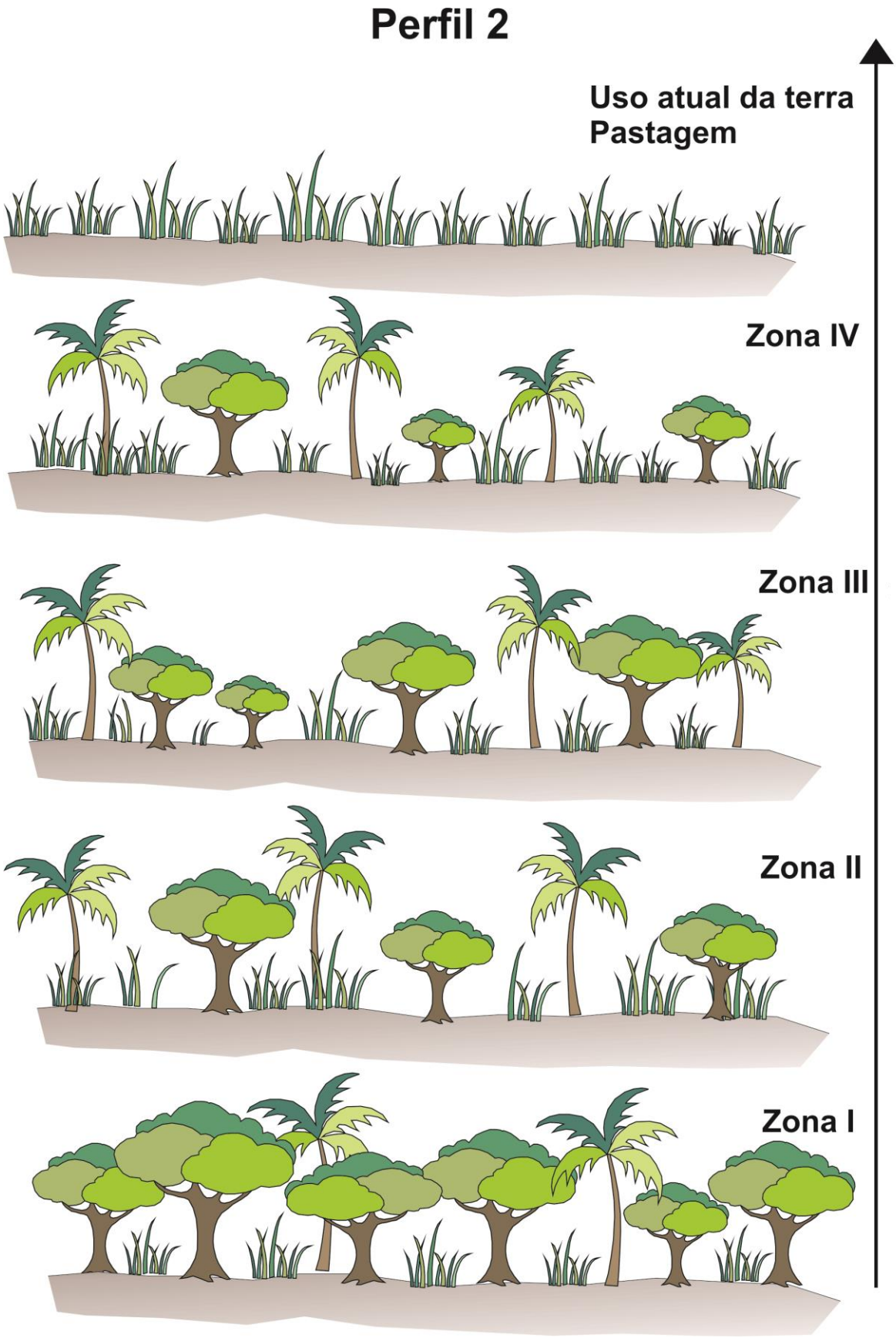


Figura 19 Esquema da evolução da vegetação ao longo do Perfil 2.

5 DISCUSSÃO

5.1 Latossolos: Registro de Mudanças Ambientais na região de Piracicaba

No Perfil 1 os dados isotópicos e fitolíticos não marcaram mudança da comunidade vegetacional, apenas oscilações de condições de umidade, com momentos climáticos mais secos que o atual ou com curtas estações secas, sugerindo que os locais estudados sempre estiveram submetidos a uma vegetação composta pela mistura de plantas do ciclo C_3 e C_4, com maior predomínio de plantas C3, indicando uma vegetação mais florestada (Figuras 16 e 17).

Os valores obtidos para os índices fitolíticos calculados neste perfil são semelhantes aos encontrados em regiões tropicais africanas (BARBONI et al., 1999; BREMOND et al., 2008) e brasileiras (ALEXANDRE et al., 1999) com indícios de condições climáticas mesotérmica úmida que favorece o desenvolvimento de vegetação com mistura de plantas C_3 e C_4, e predomínio de plantas C_3.

A história registrada pelos dois *proxies* da Zona I indica o primeiro momento mais seco, sinalizado pelos valores isotópicos que apresentaram maior contribuição de plantas C_4. Os valores dos índices fitolíticos permitem interpretar um pequeno aumento de temperatura e aliado a isso, a presença de uma expressiva faixa de carvão que valida à inferência de incêndios no local. Altos conteúdos de carvão em horizontes do solo ou em faixas a determinadas profundidades como encontradas neste trabalho, indicam a ocorrência de incêndios severos durante alguns períodos mais secos (PESSENDA et al., 2004).

Os dados fitolíticos da Zona I representam aproximadamente 60% da assembleia fitolítica (Apêndice B) composta por morfotipos de eudicotiledôneas (arbóreas e arbustivas). As árvores seriam o combustível para a ocorrência dos paleoincêndios na região, visto que, a presença de carvões de tamanho centimétricos em determinadas áreas do solo, como observado neste estudo, podem estar relacionados com a presença de vegetação arbórea mais densa, como apontam os dados fitolíticos deste trabalho (DEMEYER et al., 2001). Outro aspecto a ser observado e que confirmam os paleoincêndios é a presença de morfotipos fitolíticos com coloração amarelada nesta zona, indicando que os mesmos passaram por altas temperaturas na planta viva ou quando foram incorporados aos solos (PARR, 2006).

Neste trabalho não foram feitas datações, todavia, por se tratar de um estudo piloto e por ser parte de um projeto maior, futuramente, as datações serão realizadas. As idades serão um importante complemento para validação dos dados obtidos, bem como o estabelecimento da cronologia dos eventos.

Apesar disso, algumas inferências podem ser feitas, como, por exemplo, o trabalho realizado por Pessenda et al (2004), onde foram observados conteúdos significativos de carvões em profundidade de 150 a 210 cm (aproximadamente mesma faixa de profundidade onde os carvões foram encontrados nos solos do estudo em tela) em perfis de solo no estado de São Paulo e Minas Gerais relacionando com a ocorrência de paleoincêndios durante o Holoceno Médio. Valores isotópicos de solos (PESSENDA et al., 1996; 1998) nas regiões sul (Londrina, Paraná) e sudeste (Piracicaba, SP) marcaram o predomínio de plantas do ciclo $C_{4,}$ indicando vegetação mais aberta (campo) desde o Pleistoceno Tardio até o Holoceno médio, associado a um ambiente mais seco que o atual, corroborando os valores e interpretações para nosso estudo.

Os índices fitolíticos da Zona II sinalizam um pequeno aumento na umidade, com valores isotópicos mais empobrecidos, indicando uma maior contribuição de plantas do ciclo C_3. Esse momento ambiental de clima mais úmido foi relatado em estudo feito por Pessenda et al (2005) na região sudeste, onde essas mudanças foram observadas por volta de 3000 anos A.P, e dependendo da área, essa condição de umidade se estabeleceu entre 5000 e 1000 anos A.P (LEDRU, 1993; PESSENDA et al., 1996; GOUVEIA et al., 2002). Os horizontes superficiais (primeiros 20 cm) não representam a vegetação natural moderna, mas sim o uso da terra para cultivo de cana-de-açúcar. Deste modo a assembleia fitolítica não pôde ser usada como parâmetro de comparação para a reconstituição ambiental.

Foram observadas estruturas de vegetação e de clima semelhantes entre o Perfil 1 e Perfil 2, que se explica pela proximidade de ambos, cerca de sete quilometros. Os valores isotópicos sutilmente mais empobrecidos no Perfil 2, assim como a porcentagem média de fitólitos produzidos por eudicotiledôneas que é de 76,9%, e os índices fitolíticos marcam um aumento da densidade arbórea comparado ao Perfil 1. Esses valores indicam que a vegetação nesse perfil tinha maior contribuição de plantas C_3 do que o Perfil 1. Apesar disso, os índices também se assemelham aos encontrados em regiões africanas (BARBONI et al., 1999; BREMOND et al., 2008) e brasileiras (ALEXANDRE et al., 1999)

Os fragmentos de carvões observados nas profundidades de 60 e 100 cm do Perfil 2, aliados aos índices fitolíticos dessas profundidades assinalam momentos mais quentes e mais

secos que o atual ao longo da evolução do solo estudado, marcados pela ocorrência de incêndios na região. Linhas de carvão nessas profundidades são frequentemente relatadas para a região onde os perfis (P1 e P2) estão inseridos, a exemplo das linhas de carvão observadas por Pessenda et al. (2004), datadas como do Holoceno Médio e por Calegari (2008) em Latossolos com horizonte A húmico em Piracicaba, Campinas, Sumaré e Bragança Paulista, com idades semelhantes.

Gouveia et al (2000) utilizando a datação de carvões para analisar o papel do remonte vertical e coluviamento de materiais na formação de Latossolos no estado de São Paulo, encontraram idades de 3000 a 8000 anos AP em Botucatu, e de 4000 a 9000 anos AP em Jaguariúna, em profundidades correspondentes aos carvões encontrados neste trabalho, possibilitando a inferência de que os incêndios ocorridos nas áreas onde os perfis deste estudo se inserem aconteceram durante o Holoceno médio.

A maior variação isotópica se concentra nos primeiros centímetros do solo (-15‰), sinalizando uma diferença de mais de 4‰ entre as amostras adjacentes. Todavia não indica mudança na comunidade vegetacional por alterações climáticas, e sim ao estabelecimento de atividades antrópicas no local, que atualmente se limita ao uso de pastagem.

5.2 Bioturbação atuando na distribuição de fitólitos

A redução linear da bioturbação em profundidade em ambos os perfis sugere uma diminuição da ação da fauna no transporte de partículas, inclusive os fitólitos (figuras 7 e 9.). O Perfil 1 possui textura muito argilosa, e propicia melhor registro de feições biológicas no solo, comparado ao Perfil 2 de textura média, com maiores influências granulométricas da fração areia, tornando a preservação de feições biológicas menos eficientes neste solo (BAYER et al., 2001). O protocolo aqui estabelecido, no entanto, permitiu visualizar que a bioturbação em profundidade é similar em termos relativos nos dois perfis de Latossolos.

A maior parte dos registros biológicos se concentrou essencialmente onde o potencial energético de aportes vegetais foi maior (HUMPHREYS, 1993). A presença expressiva de raízes em zonas superficiais favoreceu a ação da fauna, que ao se decomporem abriram caminhos preferenciais para que a mesma pudesse se locomover e se alimentar, criando maiores fluxos de movimentação. (BACHELIER, 1978). Com o aumento da profundidade do

solo, essas condições apresentaram valores cada vez menores, influenciando na ação da fauna edáfica.

O Perfil 1 exibiu importantes oscilações na quantificação de feições biológicas, e com o auxílio da reconstituição do paleoambiente é possível inferir que as maiores contribuições da bioturbação ocorreram em momentos mais quentes que o atual e com boas condições de umidade. Os menores valores obtidos coexistem com os momentos mais secos e quentes, inferidos pelos índices fitolíticos, que condicionaram um incremento no índice de estresse hídrico no solo, indicando diminuição da bioturbação a 200 cm de profundidade, parte inferior da segunda faixa de carvão que poderia ser um indicativo do limite do biomanto no perfil. Porém, após este limite o valor quantificado de preenchimentos biológicos volta a aumentar consideravelmente o que põe em evidência que existem zonas de bioturbação diferenciadas e que as causas poderiam estar associadas a condições ambientais pretéritas e/ou a ecologia de certos animais do solo.

A partir dos 200 cm do perfil os dados fitolíticos não são significativos para a a reconstituição do ambiente, devido a redução expressiva da quantidade de fitólitos identificados (ALEXANDRE ET AL., 1997). Entretanto, quando a assembleia fitolítica é associada aos dados isotópicos que apresentam empobrecimento isotópico, indicando maiores influências de plantas do ciclo $C_{3,}$ ocasionou melhorias nas condições edáficas para a fauna e vegetação. Após esta profundidade, os valores decrescem linearmente indicando que o aporte energético é menos eficiente para a fauna e ação de raízes (BACHELIER, 1978).

No Perfil 2, a textura mais arenosa (menos argila e matéria orgânica) no horizonte Ap prejudica a preservação de estruturas biológicas, que se desmantelam mais rapidamente. A menor capacidade de retenção de água neste horizonte desfavorece o estabelecimento de colônias, visto que os térmitas possuem maiores necessidades de umidade (MIKLÓS, 2012) assim mesmo deve ser com as formigas. Esta pode ser a justificativa pela qual a atividade da fauna seja menor em superfície neste perfil.

O estabelecimento de condições mais úmidas no solo a 40 cm de profundidade, evidenciada pelos índices fitolíticos e valores isotópicos, influenciou um pequeno aumento de registros biológicos no horizonte BA. Assim como no Perfil 1, a diminuição linear de feições biológicas com o aumento da profundidade no perfil sugere o decréscimo de aporte energético para o desenvolvimento da fauna edáfica (BACHELIER, 1978).

Em termos relativos, a distribuição de fitólitos nos perfis estudados é similar à ação da bioturbação, apresentando tendência de diminuição com o aumento da profundidade (Figura 8 e 10), como previsto por outras pesquisas (ALEXANDRE et al., 1999; BORBA-ROSCHEL et al., 2005; PIPERNO 2006). A distribuição de fitólito no perfil pode ser realizada por três mecanismos, o primeiro consiste em áreas onde ocorrem alternados períodos de estabilidades seguidos de rápidas deposições, podendo concentrar fitólitos em camadas dentro dos solos, todavia, esse mecanismo não se aplica aos solos desta pesquisa (HART; HUMPRHEYS, 1997). O segundo mecanismo representa o transporte de fitólitos por ação de mistura da fauna do solo, e o terceiro é a translocação mecânica através do perfil (HART; HUMPRHEYS, 1997). Estes dois últimos mecanismos são mais passíveis de ocorrência nos perfis deste estudo.

A distribuição dos fitólitos é considerada normal nos perfis 1 e 2, com abundância de morfotipos em superfície e declínio com o aumento da profundidade (HUMPHREYS; HART; SIMONS, 2003). As figuras 8 e 10 representam essa distribuição de forma clara, com a maior expressividade de concentração dos fitólitos no biomanto. Os gráficos de teor de COT (%) apresentaram mesma tendência, com ocilações dos valores de carbono orgânico limitados ao biomanto, aproxidamente os primeiros 225 cm dos solos.

As porcentagens de fitólitos tafonomizados auxiliam na identificação de mistura ocasionada pela fauna, pois a presença de material corroído em profundidade sugere maior tempo de residência do fitólito no solo. Assim, fitólitos com sinais de corrosão em áreas mais superficiais são exemplos evidentes de mistura pela fauna, que no momento da escavação translocam partículas profundas para zonas mais elevadas e vice-versa (ALEXANDRE et al., 1999; RUNGE, 1999).

Por outro lado, os fitólitos com sinais de tafonomização em subsuperfície observados no Perfil 1 são frequentemente morfotipos de eudicotiledoneas, que apresentam menor superfície específica (tamanho grande), com escassez de células curtas (gramíneas). Essa escassez pode ser explicada de acordo com a posição em que o fitólito se encontra no perfil de solo, ou seja, fitólitos em zonas mais profundas indicam idade relativa mais avançada, e isso é evidenciado pelos sinais de corrosão mais expressivos (RUNGE, 1999). As células curtas, por possuírem uma maior área superficial específica tornam a dissolução mais rápida comparada aos morfotipos de menor área superficial, e isso pode ter causado a concentração de fitólitos maiores em subsuperfície. (RUNGE, 1999; OSTERRIETH et al., 2009; MADELLA; LANCELOTTI, 2012).

Os fitólitos tafonomizados no Perfil 2 deve-se ao menor revestimento em que os mesmos estão envoltos. Os baixos teores de argila neste perfil, e, portanto, a menor ocorrência de revestimentos por óxidos de Fe e os demais minerais da fração argila, induzem ao maior atrito de fitólitos com frações mais grossas durante a movimentação da fauna e expõe mais a superfície destas partículas de tamanho silte a mecanismos de dissolução, ocasionando os sinais de desgaste (OSTERRIETH et al., 2009) e dissolução.

Apesar do aumento de fitólitos tafonomizados em subsuperfície em ambos os perfis, durante as observações em microscópio observou-se a presença de fitólitos bem preservados nas mesmas profundidades. Essa presença pode ser atribuída a translocação pela fauna com maior influência de processos de acomodação comparados aos horizontes superficiais, mesmo a ação da fauna não apresentando tanta expressividade nas zonas mais profundas dos perfis (HART, 2003).

Alguns fitólitos observados em subsuperfície apresentaram forma do tipo globular, cuja morfometria favorece o deslocamento por acomodação dependendo da conectividade de poros (SIMONS, 1998; RUNGE, 1999), no entanto, para uma afirmação desse tipo seriam necessários estudos morfométricos de fitólitos e da porosidade do solo, que não foi o foco desta pesquisa.

Desta forma, a intensa ação da fauna edáfica evidenciada pela homogeneidade dos atributos dos perfis estudados, e pela mistura de fitólitos corroídos e preservados foi elucidada como principal mecanismo de distribuição dos fitólitos, no entanto, a forte ação da bioturbação não ocasionou alteração brusca das assembleias fitolíticas, sendo possível perceber coerência/similaridade na interpretação dos dados das assembleias de fitólitos e isótopos, portanto, validando a utilização de Latossolos como registro de mudanças ambientais (CALEGARI, 2008; PESSENDA et al., 1996; 1998). As pesquisas precisam avançar nestas questões, para que os resultados ora discutidos sejam corroborados em diferentes Latossolos sob distintas condições ambientais.

CONCLUSÕES

1) Os perfis estudados apresentam zonas de bioturbação diferenciadas referentes a mudanças das condições ambientais.
2) A associação de dados fitolíticos aos de isótopos de C indicou variações no ambiente, mas não uma mudança climática, onde os perfis sempre estiverem sujeitos a uma vegetação com mistura de plantas do ciclo C_3 e C_4, com predomínio de plantas C_3 e alguns momentos mais secos sugerindo abertura na vegetação (campo) com maiores influências de plantas C_4 no Holoceno Médio.
3) A bioturbação apesar de muito intensa, não ocasionou alteração brusca nas assembleias fitolíticas dos perfis, validando a reconstituição do ambiente nestes solos.
4) A tafonomia presente nos fitólitos de horizontes superficiais do Perfil 1 é atribuída ao transporte pela fauna, e em subsuperfície é determinada pelo tempo de residêmcia do fitólito no solo. No Perfil 2 a tafonomia é mais determinada por atrito com grãos de quartzo que favorecem a exposição ao ataque químico.
5) A presença de fitólitos bem preservados em maiores profundidades é atribuída a bioturbação, mesmo em menores proporções, com maiores influências de processos de acomodação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J. D. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brail. **Quaternary Research**, San Diego, v. 51, p. 187–194, 1999.

ALEXANDRE, A.; MEUNIER J.D.; COLIN, F.; KOUD, J. M. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 61, n. 3, p. 677–682, 1997.

AMARAL, E. Geologia e Petrologia da Formacao Irati (Permiano) no Estado de Sao Paulo. **Boletim do Instituto de Geociencias e Astronomia da Universidade de Sao Paulo**, 2, 3-81, 1971.

ANJOS, L.H.C.; JACOMINE, P.K.T.; SANTOS, H.G.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. In: KER, J.C.; CURI N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. Eds. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 303-343, 2012.

ARGANT, J. Climat et environnement au Quaternaire dans le Bassin du Rhône d'après les données palynologiques, **Documento du Laboratoia de Géologie de Lyon** , Lyon, n.111, p.199, 1990.

BACHELIER, G. 1978 — La faune des sols — Son écologie et son action. **Documentations Techniques** N.° 38, ORSTOM, Paris. 391 p.

BARBONI,D.; BREMOND, L.; BONNEFILLE, R. Comparative study of modern phytolith assemblages from inter-tropical Africa. **Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology, Amsterdam**, v. 246, p. 454–470, 2007.

BARROS E SILVA, M. **Caracterização Pedológica e Gênese de Solos em duas Topossequências no Sistema Cárstico da Serra da Bodoquena (MS).** (Tese de Doutorado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pós-graduação e Agronomia – Ciência do Solo. 2013, 221p.

BARROS, F. de P, LUIZ, G.; COE, H. H.; SEIXAS, A. P.; MAGALHÃES, A. P.; DAMASIO M.; KITA, C. Paleobiogeoclimatic scenarios of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil). **Journal Of South American Earth Sciences**, v. 67, p. 71-88, 2016.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Sci. Soc. Am. J**., 65:1473-1478, 2001.

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; WOOLLER, M.J.; HÉLY, C.; SCHÄFER, P.A.; MAJULE, A.; GUIOT, J. Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains**. Global and Planetary Change**, 61, 209–224, 2008.

BORBA-ROSCHEL, M.; ALEXANDRE, A.; VARAJAO, A.F.D.C.; MEUNIER, J.D.; VARAJAO, C.A.C.; COLIN, F. Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in Brezilian cerrado. **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdan, v. 88, n.1/3, p. 172-176, 2006.

BOUTTON, T.W. Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In,: BOUTTON, T.W. ; YAMASAKI, SI. (Ed). **Mass spectrometry of soils.** New York: Marcel Dekker, 1996, p.47-82.

BROSSARD, M; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D; LEPAGE, M; LEPRUN, J. C. Nutrient storage in soils and nests of mound-building Trinervitermes termites in Central Burkina Faso: consequences for soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v.43, p437-447, 2007.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MCDANIEL, P. A. **Soil Genesis and Classification**. 6th Edn. John Wiley & Sons, New York, 2011.

CALEGARI, M. R. **Ocorrência e significado paleoambiental do Horizonte A húmico em Latossolos**. Tese de Dout. ESALQ/USP. 256p. 2008.

CALEGARI, M.R.; MADELLA M.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSENDA, L.C.R.; MARQUES, F. A. Combining phytoliths and δ13C matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: An example of an Oxisol in Brazil. **Quaternary International**, v. 287, 2013.

CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; BRUSTOLIN, L.T.; PESSENDA, L.C.R.; BUSO, A.A.; FRANCISQUINI, M.; VIDAL-TORRADO, P. ,Potential of soil phytoliths, organic matter and carbon isotopes for small-scale differentiation of tropical rainforest vegetation: A pilot study from the campos nativos of the Atlantic Forest in Espírito Santo State (Brazil). **Quaternary International**, v. 437, 2017.

CAVALCANTE, P. B. Contribuição ao estudo das gramíneas amazônicas. **Bol. Mus. Par. Emilio Goeldi (Bot.),** *30*: 1-38, 1968.

CECCHET, F. A. **Análise de fitólitos aplicada a reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) na superfície incompletamente aplainada VI – Campo Erê (SC) no pleistoceno tardio**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Parana, Francisco Beltrão, 2015.

CHIAPINI, M.; SCHELLEKENS, J.; CALEGARI, M.R.; ALMEIDA, J.A.; BUURMAN, P.; CAMARGO, P.B.; VIDAL-TORRADO, P. Formation of black carbon rich 'sombric' horizons in the subsoil – A case study from subtropical Brazil. **Geoderma**, v. 314, 2018.

COE, H. H. G.; MACARIO, K.; GOMES, J. G.; CHUENG, K. F., OLIVEIRA, F.; GOMES, P.R.S., CARVALHO, C.; LINARES, R.; ALVES, E.; SANTOS, G.M. Understanding Holocene variations in the vegetation of São Joao River basin, southeastern coast of Brazil, using phytolith and carbon isotopic analyses**. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol**. 415, 59–68, 2014.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F. Stratigraphical discontinuities, tropical landscape evolution and soil distribution relationships in a case study in SE-Brazil. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo**, Viçosa, v. 26, n.3, p. 673-683, 2002

DELHON, ALEXANDRE, A.; BERGER, J. F.; THIÉBAULT, S.; BROCHIER AND , J. L.; MEUNIER, J. D. Phytolith assemblages as a promising tool for reconstructing Mediterranean Holocene vegetation, **Quaternary Research**, San Diego, v. 59, n.1, p. 48–60, 2003

DEMEYER, A.; VOUNDI NKANA, J.C.; VERLOO, M.G. Characteristics of wood ash influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, London, v.77, n.287–295, 2001.

EMBRAPA**. Manual de métodos de análise de solo**. Rio de janeiro: Centro Nacional de Pesquisa em Solos, 212p. (EMBRAPA. CNC. Documentos, 1), 1997.

EMBRAPA**. Manual de métodos de análise de solo.** Brasília – DF 3. ed. rev. e ampl. 573 p, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA**. Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília - DF, 2018.

EPSTEIN, E. Chapter 1 Silicon in plants: Facts vs. concepts. **Studies in Plant Science**, v. 8, p. 1–15, 1 jan. 2001.

FARMER, V.C. Forest vegetation does recycle substantial amounts of silicon, from and back to the soil solution with phytoliths as an intermediate phase, contrary to recent reports. **European Journal of Soil Science** 56 (2), 271 e 272, 2005.

FRAYSSE, F;. POKROVSKY, O. S.; SCHOTT, J.; MEUNIER, J. D. Surface chemistry and reactivity of plant phytoliths in aqueous solutions. **Chem Geol** 258:197–206, (2009)

FLORÊNCIO, D. F.; DIEHL, E. Termitofauna (Insecta, Isoptera) em Remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual em São Leopoldo, Rio Grande do Sul. Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, 50: 505-511, 2006.

GOCKE, M.; LIANG, W.; SOMMER, M.; KUZYAKOV, Y. Silicon uptake by wheat: effects of Si pools and pH. J. **Plant Nutr. Soil Sci**., 176 (2013), pp. 551-560, 2013.

HART, D. M.; HUMPHREYS, G. S. The mobility of phytoliths in soils: pedological considerations. **Cent. Cienc. Medioambientales** CSIC Monogr., 4 (1997), pp. 93-100,1997.

GOUVEIA, S. E. M.; PESSENDA, L. C. R. Datation par Le 14C de Charbons inclus dans lê sol pour l'etude du role de la remontée biologique de matiére et du colluvionnement dans la formation de latosols de l'etat de São Pauloi, Brésil. **Comptes Rendus de L'Académie dês Sciences**, Série IIA, Paris, v.330, n 2, p. 133-138, 2000.

HART, D.M. The influence of soil fauna on phytolith distribution in a soil. In: HART D.M.&. WALLIS L.A eds. **Phytoliths and starch research in the Australian-Pacific-Asian regions: the state of the art. terra australis** 19, 83-91, 2003.

HART, D.M.; HUMPHREYS, G.S. The mobility of phytoliths in soils: pedological considerations. In: PINILLA, A., JUAN-TRESSERRAS, J., MACHADO, M.J. (Eds.), **The State-of-the-art of Phytoliths in Soils and Plants**. Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC), Madrid, pp. 93 e 100, 1997.

HOLE, F.D. A classification of pedoturbations and some other processes and factors of soil formation in relation to isotropism and anisotropism. **Soil Science** 91, 375–377, 1961.

JOHNSON, D.L. Darwin would be proud: bioturbation, dynamic denudation, and the power of theory in science. **Geoarchaeology** 17, 7–40, 2002.

JONES, C.G.; LAWTON, J.H.; SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. **Oikos,** 69, 373–386, 1994.

JOUQUET, P.; LEPAGE, M.; VELDE, B. Termite soil preferences and particle selections: strategies related to ecological requirements. **Insectes Sociaux**, v.49, p.1-7, 2002.

JOUQUET, P.; GUILLEUX, N.; SHANBHAG, R. R.; SUBRAMANIAN. Influence of soil type on the properties of termite mound nests in Southern Indian. **Applied Soil Ecology** 96, 282-287, 2015.

JOUQUET, P.; CHINTAKUNTA, S.; BOTTINELLI, N.; SUBRAMANIAN, S.; CANER, L. The influence of fungus-growing termites on soil macro and micro-aggregates stability varies with soil type. **Applied Soil Ecology** 101, 117-123, 2016

KALINOVSKI, E. C. Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E. E. Paleoambientes quaternários da planície do rio Iapó, Castro, Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, p. 1543-1558, 2016.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17–40, 1998.

KONDO, R.; IWASA, Y. Biogenic opals of humic yellow latosols and yellow latosols in the Amazon region. **Research Bulletin Obihiro University**, Obihiro, v.12, p. 231–239, 1981.

LABOURIAU, L. G. Problemas de fisiologia ecologica dos /Cerrados. In: Ferri, M.G. (edit.), **Simposio sobre o Cerrado**, 424 p. Editora Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, p. 237-276, 1963.

LABOURIAU, L.G.; MOSQUIM, P.R.; MORHY L. Deposição de sílica nas folhas de Casearia grandiflora St. Hil., **An. Acad. Brasil. Cienc**. 45:545-563, 1973.

LABOURIAU, L. G. Phytolith Work in Brazil, a Minireview**. The Phytolitharien**. V. 2, n. 2, 1983, 5p.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O.W.; DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology** 33, 159–193, 1997.

LAVELLE P. Functional domains in soils. **Ecol Res**. 17:441–450, 2002.

LEDRU, M. P. Late Quaternary environmental and climatic chantes in Central Brazil. **Quaternary Research**, San Diego, v.39, p.90-98, 1993.

LEPSCH, I.F.; BUOL, S.W. Investigations in an Oxisol toposequence in S.Paulo state, Brazil. **Soil Science Society of America Proceedings** 38, 491–496, 1974.

LEPSCH, I.F.; BUOL, S.W.; Oxisol-landscape relationship in Brazil. In: **international soil classification workshop** 8, 1986, Campinas. Proceedings. Rio de janeiro: Embrapa, SNLCS, University of Puerto Rico, 1988. 174–189, 1988.

LORENTE, F. L.; PESSENDA, L. C. R.; CALEGARI, M. R.; COHEN, M. C. L.; ROSSETTI, D.; GIANNINI, P. C. F.; JUNIOR, A. A. B.; CASTRO, D. F.; FRANÇA, M. C.; BENDASSOLLI, J. A.; MACARIO, K. Fitólitos como indicadores de mudanças ambientais durante o Holoceno na costa norte do estado do Espírito Santo (Brasil). **Quaternary and Environmental Geosciences**. v. 6, p. 26-40, issn: 21766142, 2015.

MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, Oxford, v. 96, n.2, p. 253–260, 2005.

MADELLA, M.; LANCELOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: A user manual. **Quaternary International**, v. 275, p. 76–83, 2012.

MADELLA, M.; LANCELOTTI, C.; OSTERRIETH, M. Comprehensive perspectives on phytolith studies in Quaternary Research. **Quaternary International**, 287, 1–2, 2013.

MIKLÓS, A. A. W. Biogênese do solo. **Revista do Departamento de Geografia** – USP, Volume Especial 30 Anos, p. 190-229, 2012.

MONIZ, A. C.; BUOL, S.W. Formation of an oxisol-ultisol transition in São Paulo-Brazil. I. double-water flow model of soil development. **Soil Sci. Soc. Am. J.,** 46:1228-1233, 1982.

MOORE, P. D.; WEBB, J. A.; COLLINSON, M. E. Pollen Analysis. 2nd. ed. **Oxford: Blackwell Scientific Publications**, 1991. 216p.

MOURA FILHO, W.; BUOL, S. W. Studies of a latosolo roxo (Eutrustox) in Brazil: description, setting and characterization. **Experientiae**, Viçosa, MG, v. 13, n. 7, p. 201-247, abr. 1972. il.

MUGGLER, C.C.; BUURMAN, P. Erosion, sedimentation and pedogenesis in a polygenetic oxisol sequence in Minas Gerais, Brazil. **Catena** 41, 3-17, 2000.

MUJINYA, B. B.; VAN RANST, E.; VERDOODT, A.; BAERT, G.; NGONGO, M. Termite bioturbation effects on electro-chemical properties of Ferralsols in the Upper Katanga (D.R. Congo). **Geoderma** 158, 233-241, 2010.

MULHOLLAND, S. C.; RAPP, JR. G. Phytolith Systematics. Emerging Issues, **Advances in Archeological and Museum Science**. v.1, Plenum Press, 350, 1992.

OHKUMA, M. Termite symbiotic systems: efficient bio-recycling of lignocellulose. **Applied and Environmental Microbiology,** v.61, p.1-9, 2003.

OSTERRIETH, M.; MADELLA, M.; ZURRO, D.; ALVAREZ, M. F. Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. **Quaternary International**, v. 193, n. 1–2, p. 70–79, 2009.

PAISANI, J.C.; CALEGARI, M.R.; PONTELLI, M.E.; PESSENDA, L.C.R.;CÔRREA, A.C. B; PAISANI, S.D.L.; RAITZ, E. O papel das mudanças climáticas do quaternário superior na dinâmica evolutiva de paleovale de segunda ordem (Sul do Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V. 14, 2013, p. 103-116.

PAISANI, S. D. L.; PAISANI, J. C.; OSTERRIETH, M.L.; PONTELLI, M. E. . Significado paleoambiental de fitólitos em registro pedoestratigráfico de paleocabeceira de drenagem - superfície de Palmas/Água Doce (Sul do Brasil). **Geociências (São Paulo. Online)**, v. 35, p. 426-442, 2016.

PAROLIN, M.; MONTEIRO, M. R.; COE, H. H. G.; COLAVITE, A. P. Considerações Paleoambientais do Holoceno Médio por Meio de Fitólitos na Serra do Cadeado, Paraná. **Revista Do Departamento De Geografia**, v. Esp., p. 96-103, 2017.

PARR, J. F. Effect of fire on Phytolith Coloration. **Geoarchaeology: An International Journal, Chichester**, v.21, n. 2, p.171-185, 2006.

PARR, J.; WATSON, L. Morphological characteristics observed in the leaf phytoliths of selected Gymnosperms of eastern Australia. In: MADELLA, M. & ZURRO, D. **Plants, People and Places- recent studies in phytoliths analysis.** Oxbow Books. 2007. 272p.

PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. **Soil Science Society of America Journal, Madison,** v.51, p.1173–1179, 1987.

PEARSALL, D. M. **Paleoethnobotany: a Handbook of Procedures**, 2nd. Edition. San Diego: Academic Press, 2000. 700p.

PENTEADO, M. M. A Bacia de Sedimentação de Rio Claro. São Paulo, Geographica. **Revista da Sociedade de Geografia de Lisboa,** 5, 38-61, 1969.

PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; BOULET, R. The use of carbon isotopes (C-13, C-14) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. Radiocarbon, **New Haven**, v.38, n 2, p. 191–201, 1996.

PESSENDA, L.C.R.; VALENCIA, E.P.E.; ARAVENA, R.; TELLES, E.C.C.; BOULET,R. Paleoclimate studies in Brazil using carbon isotopes in soils. In: WASSERMAN, J.C., SILVA-FILHO, E., VILLAS-BOAS, R. (Eds.), **Environmental Geochemistry in the Tropics**. Springer, Berlin, p. 7–16, 1998.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. **Quatern Int** 114: 35–43, 2004.

PIPERNO, D. R. Phytolith Analysis: an Archeological and Geological Perspective. San Diego: **Academic Press**, 1988. 280p.

PIPERNO, D. R. Phytoliths : a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. [s.l.] **AltaMira Press**, 2006.

RABBI, S. M. F.; WILSON, B. R.; LOCKWOOD, P.V.; DANIEL, H.; YOUNG, I.M. Aggregate hierarchy and carbon mineralization in two Oxisols of New South, Australia. **Soil & Tillage Research** 146, 193-203, 2015.

RAPP, G Jr.; MULHOLLAND, S. C. Phytolith Sistematcs: Emerging_Issues. **Adances in Archaeological and Museum Science,** New York and London. V. 1. 1992.

RODRIGUES, R. R. A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno. IPEF, **Circular Técnica**, n.189, 1999.

ROVNER, I. Potential of opal phytoliths for use in palaeoecological reconstruction. **International Research**, v. 1, n. 3, p. 345–359, 1971.

RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soils in central Africa - Quantities, shapes, classification, and spectra. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 107, n. 1–2, p. 23–53, 1999.

SAIA, S. E. M. G.; PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J. A. Last glacial maximum (LGM) vegetation changes in the Atlantic Forest, southeastern Brazil. **Quaternary International**, Oxford, 2007.

SANTOS, R. D; SANTOS, H. G; KER, J. C; ANJOS, L. H C; SHIMZU, S. H**. Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. 7 ed. 101 p. Viçosa – MG. 2015.

SCHAEFER, C. E. R. Brazilian Latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal Soil Research** 39, 909–926. , 2001.

SCHAETZEL, R. J.; ANDERSON, S. Soils: Genesis and Geomorphology. **Cambridge University Press**, New York, 2005, 817p.

SÉGALEN, P. **Les Sols Ferrallitiques et Leur Répartition Géographique, vol. 3, Les Sols Ferrallitiques en Afrique eten Extrême-Orient, Australie, Océanie**, 201 pp., Inst. De Rech. Pour le Dév., Paris, 1995.

SENDULSKY, T; LABOURIAU, L. G. Corpos Silicosos de Gramíneas do Cerrados – I. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Instituto de Botânica, São Paulo, V.38, p. 159-170, 1966.

SILVA, A.C.; VIDAL TORRADO, P. Gênese dos Latossolos húmicos e sua relação com a evolução da paisagem numa área cratônica do Sul de Minas Gerais**. R. Bras. Ci. Solo**, 23:329-341, 1999.

SILVA NETO, E. C. D. et al. Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in Spodosols of the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 636, 2018.

SIMONS N.A. **Interpreting phytolith depth functions in relation to the processes of pervection and bioturbation**. Unpubl. BSc Hons Thesis, Macquarie University, Sydney, NSW, 1998.

SOMMER, M.; KACZOREK, D.; KUZYAKOV, Y.; BREUER, J. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes - A review. J. **Plant Nutr. Soil Sci,** v. 169, n. 3, p. 310–329, 2006.

SOMMER, M.; JOCHHEIM, H.; HÖHN, A.; BREUER, J.; ZAGORSKI, Z.; BUSSE, J.; BARKUSKY, D.; MEIER, K.; PUPPE, D.; WANNER, M.; KACZOREK, D. Si cycling in a forest biogeosystem - the importance of transient state biogenic Si pools. **Biogeosciences**, v. 10, n. 7, p. 4991–5007, 24 jul. 2013.

STRÖMBERG, C. A .E. Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the late Eocene to early Miocene. **Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology,** Amsterdam, v. 207, p.239–275, 2004.

STRÖMBERG, C. A. E. Methodological concerns for analysis of phytolith assemblages: Does count size matter? **Quaternary International,** v. 193, n. 1–2, p. 124–140, 2009.

THORN, V. C. Phytolith evidence for C4-dominated grassland since the early Holocene at Long Pocket, northeast Queensland, Australia, **Quaternary Research**, San Diego, v. 61, p. 168–180, 2004.

TWISS, C.; SUESS, E.; SMITH, R. M. Morphological classification of grass phytoliths. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.33, p.109–115, 1969.

TWISS, P. C. A cormudgeon's view of grass phytolitholog. In: MEUNIER, J.D. F.; COLIN, F, Editors, **Phytoliths: Applications in earth sciences and human history,** Balkema, Amsterdam,. 2001. p.7-25.

VAN WAMBEKE, A.; ESWARAN, H.; HERBILLON, A.J.; COMERMA, J. Oxisols. Reprinted from: **Pedogênesis and Soil Taxonomy.** II. The Soil Orders, by Wilding, L.P., Smeck, N.E., Hall, G.F., (Editors) 325-354, 1983.

VIDAL-TORRADO, P. **Pedogênese e Morfogênese no distrito de Tupi (Piracicaba, SP).** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. (Tese de Doutorado). p. 212, 1994.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I.F.; Relações material de origem / solo e pedogênese em uma sequência de solos predominantemente argilosos e Latossólicos sobre psamitos na Depressão Periférica Paulista. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23, 357-369, 1999.

WILKINSON, M.T.; RICHARDS, P.J.; HUMPHREYS, G.S. Breaking ground: pedological, geological, and ecological implications of soil bioturbation. **Earth-Science Reviews,** 97: 254-269, 2009.

ZUCOL, A.F.; BREA, M.; PASSEGGI, E. Los estudios fitolíticos en América del Sur, una visión retrospectiva. In: KORSTANJE, M.A. e BABOT, M.P. (eds.) **Matices**

interdisciplinarios en estudios fitolíticos y de otros microfósiles. BAR International Series v.1870, n.1, p.3-21, 2008.

APÊNDICE A – Descrições morfológicas dos perfis estudados na região de Piracicaba

PERFIL 1

DATA DA DESCRIÇÃO: 21/02/2017
CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura muito argilosa.
UNIDADE DE MAPEAMENTO:Lvd
LOCALIZAÇÃO:
SITUAÇÃO: Descrito e coletado em barranco de estrada, área de plantio de cana-de-açucar
ALTITUDE: 595m
LITOLOGIA: Argilito retrabalhado
FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Irati
CRONOLOGIA: Permiano
MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alterações do material supracitado
PEDREGOSIDADE: Não pedregoso
ROCHOSIDADE: Não rochoso
RELEVO LOCAL: Plano
RELEVO REGIONAL: Suave ondulado
EROSÃO: Não aparente
DRENAGEM: Bem drenado
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta estacional semidecidual
USO ATUAL: plantio de cana-de-açúcar
CLIMA: Cwa, da classificação de köppen
DESCRITO E COLETADO POR: Beatriz Motta Rodrigues e Taís Almeida Santos

Ap 0 – 20 cm; vermelho escuro (2,5 YR 3/4 úmido); argilosa; moderada, pequena a média, blocos subangulares que se desfaz em granular pequena; friável; plástica pegajosa; transição plana e clara.

AB 20 - 48 cm; vermelho escuro (2,5 YR 3/4 úmido); argilosa; fraca, grande, blocos subangulares que se desfaz em granular pequena; friável; plástica pegajosa; transição plana e clara.

BA 48 – 700 cm; vermelho escuro (2,5 YR 2,5/4 úmido); argilosa; fraca, média a grande, blocos subangulares que se desfaz em granular forte muito pequena; friável; plástica pegajosa; transição plana e gradual.

Bw1 70 – 100 cm; vermelho escuro (2,5 YR 2,5/4 úmido); muito argilosa; fraca, grande, blocos subangulares que se desfaz em granular forte muito pequena; friável; muito plástica muito pegajosa; transição plana e difusa.

Bw2 100 – 155 cm; vermelho escuro (2,5 YR 2,5/4 úmido); argilosa; fraca, média a grande, blocos subangulares que se desfaz em granular forte muito pequena; friável; plástica pegajosa; transição plana e difusa.

Bw3 155 – 210 cm; vermelho escuro (2,5 YR 2,5/4 úmido); muito argilosa; moderada, média a grande, blocos subangulares que se desfaz em granular forte muito pequena; friável; muito plástica muito pegajosa; transição plana e difusa.

Bw4 210 – 290 cm; vermelho escuro (2,5 YR 2,5/4 úmido); muito argilosa; moderada, grande, blocos subangulares que se desfaz em granular forte muito pequena; friável; muito plástica muito pegajosa; transição plana e difusa.

Bw5 290 – 350 cm; vermelho escuro (2,5 YR 2,5/4 úmido); argilosa; moderada, grande, blocos subangulares que se desfaz em granular forte muito pequena; friável; plástica pegajosa; transição plana e difusa.

Bw6 350 – 455 cm; vermelho escuro (2,5 YR 2,5/4 úmido); argilosa; forte, pequena, blocos subangulares que se desfaz em granular forte muito pequena; friável; plástica pegajosa; transição plana e difusa.

BC 455 – 470 cm; vermelho escuro (2,5 YR 2,5/4 úmido); argilosa; fraca, média, blocos subangulares que se desfaz em granular forte pequena; friável; plástica pegajosa; transição plana e difusa.

C 470^{+} cm; vermelho escuro (2,5 YR 2,5/4 úmido); argilosa; moderada, grande, blocos subangulares que se desfaz em granular forte muito pequena; friável; plástica pegajosa;

PERFIL 2

DATA DA DESCRIÇÃO: 23/02/2017
CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico A moderado textura média.
UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVAdf
LOCALIZAÇÃO:
SITUAÇÃO: Descrito e coletado em trincheira
ALTITUDE: 588m
LITOLOGIA: Arenito retrabalhado
FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Irati
CRONOLOGIA:
MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alterações do material supracitado
PEDREGOSIDADE: Não pedregoso
ROCHOSIDADE: Não rochoso
RELEVO LOCAL: Plano
RELEVO REGIONAL: Suave ondulado
EROSÃO: Não aparente
DRENAGEM: Bem drenado
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta estacional semidecidual
USO ATUAL: pastagem
CLIMA: Cwa, da classificação de köppen
DESCRITO E COLETADO POR: Beatriz Motta Rodrigues e Taís Almeida Santos

Ap 0 – 10 cm; vermelho amarelado (5 YR 5/6 seco) e (5 YR 4/4 úmido); areia franca; fraca, média, granular; ligeiramente dura friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

AB 10 – 40 cm; vermelho amarelado (5 YR 4/4 seco) e (5 YR 4/4 úmido); franco arenosa; fraca, pequena a média, blocos subangulares; ligeiramente dura; muito friável; não plástica não pegajosa; transição plana e gradual.

BA 40 – 75 cm; vermelho amarelado (5YR 4/6 seco) e (5 YR 4/6 úmido); franco arenosa; fraca, média a grande, blocos subangulares que se desfaz em granular forte muito pequena; friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Bw1 75 – 120 cm; vermelho amarelado (5YR 5/6 seco) e (5 YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca, média, blocos subangulares; ligeiramente dura; muito friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

Bw2 120 – 175 cm; vermelho amarelado (5YR 5/6 seco) e (5 YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca, média, blocos subangulares; ligeiramente dura; muito friável; não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

Bw3 175 – 240 cm; vermelho amarelado (5YR 5/8 seco) e (5 YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca, média, blocos subangulares; ligeiramente dura; muito friável; não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

Bw4 240^{+} cm; vermelho amarelado (5YR 5/8 seco) e (5 YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; moderada, blocos subangulares; ligeiramente dura; muito friável; não plástica e ligeiramente pegajosa;

APÊNDICE B - valores relativos (%) dos perfis estiudados na região de Piracicaba

Profundidade (cm)	Angiosperma										*Indeterminados	*Tafonomizados	Índices fitolíticos			
	Monocotiledôneas									Dicotiledôneas						
	Poaceae															
	Panicoideae	Pooideae	Chloridoideae	Bambusoid	Elongate	Buliform	Hair	Cyperaceae	Arecaceae	Eudicotiledoneae			D/P	Iph (%)	Ic (%)	FS (%)
0-10	25,7	5,5	6,0	0,0	5,0	1,4	1,4	0,0	29,8	25,2	24,3	8,8	2,7	0,4	0,3	0,3
10-20	3,4	1,0	2,4	1,4	8,2	2,4	2,9	1,0	33,7	42,3	12,7	11,9	2,7	0,4	0,3	0,3
20-30	7,3	4,4	2,9	1,5	16,0	4,4	0,0	1,9	35,4	26,2	15,2	5,1	2,7	0,4	0,3	0,3
30-40	6,3	1,0	3,8	2,4	8,2	0,5	0,0	0,0	51,4	26,4	9,1	5,5	2,7	0,4	0,3	0,3
40-50	2,7	5,4	2,3	0,9	10,0	0,5	0,0	2,3	33,9	42,1	5,8	1,8	2,7	0,4	0,3	0,3
50-60	3,4	4,9	2,0	0,5	10,2	0,0	0,0	0,0	31,7	47,3	20,6	4,2	2,7	0,4	0,3	0,3
60-70	4,3	0,0	3,8	2,9	20,1	3,3	0,0	0,0	17,7	47,8	7,1	12,6	2,7	0,4	0,3	0,3
70-80	7,5	4,5	2,5	4,5	13,0	1,0	0,0	0,0	34,5	32,5	9,0	0,5	2,7	0,4	0,3	0,3
80-90	4,9	2,9	3,4	3,9	14,6	11,2	1,0	0,0	34,6	23,4	0,0	5,1	2,7	0,4	0,3	0,3
90-100	2,0	0,4	3,6	3,2	12,1	6,5	0,0	0,0	31,0	41,1	0,0	3,1	2,7	0,4	0,3	0,3
100-110	2,0	4,9	4,4	2,0	12,7	2,5	0,0	0,0	17,6	53,9	17,5	3,8	2,7	0,4	0,3	0,3
110-120	2,1	4,2	0,0	2,1	22,0	0,8	0,0	0,0	7,2	61,4	19,1	19,5	5,6	0,6	0,3	0,4
120-130	5,5	5,5	4,6	4,6	15,5	1,4	0,0	0,0	19,2	43,8	23,9	24,2	5,6	0,6	0,3	0,4
130-140	0,9	0,5	0,5	3,3	20,9	1,4	0,0	0,0	23,7	48,8	15,5	23,8	5,6	0,6	0,3	0,4
140-150	1,4	3,3	0,5	4,7	14,2	1,9	0,0	0,0	23,6	50,5	16,2	23,5	5,6	0,6	0,3	0,4
150-160	0,5	1,5	1,5	2,9	12,7	2,0	0,5	0,0	10,7	67,8	16,8	13,9	5,6	0,6	0,3	0,4
160-170	2,0	1,5	1,5	1,5	12,7	0,5	0,0	0,0	6,3	74,1	66,8	17,0	5,6	0,6	0,3	0,4
170-180	1,0	4,3	0,5	2,9	17,2	2,9	0,0	0,0	10,5	60,8	26,3	18,0	5,6	0,6	0,3	0,4
180-190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,7	10,2	-	-	-	-
190-200	0,9	0,9	1,7	2,6	30,4	7,8	3,5	0,0	7,0	45,2	36,1	20,1	5,6	0,6	0,3	0,4
200-210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,2	16,9	-	-	-	-

210-220	1,3	1,3	2,7	1,3	20,1	0,0	1,3	0,0	2,0	69,8	19,4	14,9	5,6	0,6	0,3	0,4
220-230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,4	21,9	-	-	-	-
230-240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,7	13,3	-	-	-	-
240-250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,7	23,8	-	-	-	-
250-260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,0	40,0	-	-	-	-
260-270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,1	29,3	-	-	-	-
270-280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,7	18,9	-	-	-	-
280-290	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,1	17,9	-	-	-	-
290-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40,0	10,0	-	-	-	-
300-310	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
310-320	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,5	26,3	-	-	-	-
320-330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,0	20,0	-	-	-	-
330-340	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,1	14,8	-	-	-	-
340-350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,0	20,0	-	-	-	-
350-360	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47,8	4,3	-	-	-	-
360-370	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,3	23,8	-	-	-	-
370-380	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	7,1	-	-	-	-
380-390	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	23,1	-	-	-	-
390-400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	20,0	-	-	-	-
400-410	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	12,5	-	-	-	-
410-420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	14,3	-	-	-	-
420-430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	28,6	-	-	-	-
430-440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	31,3	-	-	-	-
440-450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,6	27,3	-	-	-	-
450-460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,3	13,6	-	-	-	-
460-470	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,	12,5	-	-	-	-
470-480	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,9	21,4	-	-	-	-
480-490	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
490-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,0	20,0	-	-	-	-
Média*	4,2	2,9	2,5	2,5	14,8	2,6	0,5	0,3	46,5	23,1	-	-	-	-	-	-
Máximo*	25,7	5,5	6,0	4,7	30,4	11,2	3,5	2,3	74,1	51,4	-	-	-	-	-	-
Mínimo*	0,5	0	0	0	0	5,0	0	0	23,4	2,0	-	-	-	-	-	-
Desvio Padrão*	5,5	2,0	1,6	1,4	5,8	2,9	1,0	0,7	15,1	13,1	-	-	-	-	-	-

* Os valores utilizados para os cálculos de média, máximo, mínimo e desvio padrão foram somente aqueles pertencentes as amostras de 0 a 200 cm.

Profundidade (cm)	Angiosperma								Dicotiledôneas	*Indeterminados	*Tafonomizados	Índices Fitolíticos			
	Monocotiledôneas														
	Poaceae							Arecaceae	Eudicotiledoneae						
	Panicoideae	Pooideae	Chloridoideae	Bambusoid	Elongate	Buliform	Hair					D/P	Iph (%)	Ic (%)	FS (%)
0-10	10,4	1,4	0,0	0,0	17,6	0,5	1,4	1,8	67,1	51,4	28,4	5,97	0	0,09	0,68
10-20	3,4	1,0	0,0	1,0	10,7	2,9	2,4	2,4	76,1	46,8	18,7	5,97	0	0,09	0,68
20-30	1,3	0,0	0,0	0,0	13,1	2,6	0,0	3,1	79,9	45,3	18,1	5,97	0	0,09	0,68
30-40	0,0	0,0	0,0	0,0	14,4	0,0	0,0	8,7	80,1	41,1	10,5	5,97	0	0,09	0,68
40-50	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	8,7	87,0	46,5	9,3	16,69	0,11	0,11	0,69
50-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	18,2	-	-	-	-
60-70	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7	0,0	0,0	4,2	82,1	25,6	13,3	16,69	0,11	0,11	0,69
70-80	0,0	0,5	0,5	0,0	14,9	2,0	0,5	2,5	79,2	33,3	11,6	16,69	0,11	0,11	0,69
80-90	0,9	0,0	0,5	0,0	9,3	3,7	0,0	0,0	85,5	23,0	17,3	16,69	0,11	0,11	0,69
90-100	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	1,0	0,0	1,9	82,0	23,4	22,3	16,69	0,11	0,11	0,69
100-110	1,9	0,0	1,0	0,0	18,3	1,4	0,0	1,4	76,0	37,9	16,7	16,69	0,11	0,11	0,69
110-120	0,0	1,4	0,0	0,0	21,7	0,0	0,0	5,8	71,0	34,3	22,9	15,67	0,63	0	1,25
120-130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49,7	12,8	-	-	-	-
130-140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37,0	17,1	-	-	-	-
140-150	2,0	0,0	0,0	0,0	16,3	0,7	0,0	0,0	81,0	33,8	21,2	15,67	0,63	0	1,25
150-160	0,9	0,9	1,4	0,9	16,6	0,5	0,0	0,9	77,7	29,9	20,4	15,67	0,63	0	1,25
160-170	0,5	0,0	2,2	0,0	0,0	4,4	0,0	4,4	88,5	25,3	28,2	16,69	0,11	0,11	0,69
170-180	0,0	0,0	0,9	0,0	26,6	2,3	0,5	2,7	67,1	31,9	20,6	15,67	0,63	0	1,25
180-190	0,8	0,0	0,0	0,0	20,2	0,0	0,0	4,7	74,4	23,7	16,0	15,67	0,63	0	1,25
190-200	0,0	4,8	0,0	0,0	22,6	9,7	0,0	6,5	56,5	28,7	12,6	67	0	0	0
200-210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,0	14,7	-	-	-	-
210-220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,6	17,0	-	-	-	-
220-230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65,9	19,5	-	-	-	-
230-240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,4	12,5	-	-	-	-
240-250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48,6	7,2	-	-	-	-
250-260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41,0	26,3	-	-	-	-

260-270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,5	12,3	-	-	-	-
270-280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38,1	10,9	-	-	-	-
280-290	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,6	18,1	-	-	-	-
290-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,9	11,7	-	-	-	-
300-310	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
310-320	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,8	0,0	-	-	-	-
320-330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
330-340	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0	0,0	-	-	-	-
340-350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
350-360	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
360-370	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
370-380	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
380-390	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
390-400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90,5	0,0	-	-	-	-
Média*	1,3	0,5	0,4	0,1	15,0	1,6	0,2	3,6	76,9			-	-	-	-
Máximo*	10,3	4,8	2,1	1,0	26,5	9,6	2,4	8,7	88,5			-	-	-	-
Mínimo*	0	0	0	0	0	0	0	0	56,4			-	-	-	-
Desvio Padrão*	2,4	1,1	0,7	0,3	6,2	2,3	0,6	2,4	7,6			-	-	-	-

*Os valores utilizados para os cálculos de média, máximo, mínimo e desvio padrão foram somente aqueles pertencentes as amostras de 0 a 200 cm.

Tabela com os valores relativos (%) das amostras ≥ 100 fitólitos e índices fitolíticos por amostra e por zona (Perfil 1)

Cm	Amostra Correspondente	Poaceae*	Eudicotiledoneae	Arecaceae	Índices Fitolíticos				Média dos índices por Zona			
					D/P	Iph	Ic	FS	D/P	Iph	Ic	Fs
0-10	1	37,2	25,2	29,8	2,8	0,4	0,1	0,3	2,7	0,4	0,3	0,3
10-20	2	8,2	42,3	33,7	0,9	0,3	0,3	0,3	2,7	0,4	0,3	0,3
20-30	3	16	26,2	35,4	1,9	0,4	0,1	0	2,7	0,4	0,3	0,3
30-40	4	13,5	26,4	51,4	2,8	0,5	0,5	0	2,7	0,4	0,3	0,3
40-50	5	11,3	42,1	33,9	3,5	0,4	0,5	0	2,7	0,4	0,3	0,3
50-60	6	10,7	47,3	31,7	2,4	0,5	0	0,4	2,7	0,4	0,3	0,3
60-70	7	11	47,8	17,7	1,8	0,3	0,3	0	2,7	0,4	0,3	0,3
70-80	8	19	32,5	34,5	0,9	0,4	0,3	0,8	2,7	0,4	0,3	0,3
80-90	9	15,1	23,4	34,6	3,0	0,6	0,1	0,9	2,7	0,4	0,3	0,3
90-100	10	9,3	41,1	31	3,4	0,7	0,4	0,2	2,7	0,4	0,3	0,3
100-110	11	13,2	53,9	17,6	5,9	0	0,7	0,1	2,7	0,4	0,3	0,3
110-120	12	8,5	61,4	7,2	2,0	0,5	0,4	0,1	5,6	0,6	0,3	0,4

120-130	13	20,1	43,8	19,2	13,0	0,3	0,3	0,8	5,6	0,6	0,3	0,4
130-140	14	5,2	48,8	23,7	3,6	0,3	0,6	0,4	5,6	0,6	0,3	0,4
140-150	15	9,9	50,5	23,6	8,5	0,8	0,4	0,6	5,6	0,6	0,3	0,4
150-160	16	6,3	67,8	10,7	10,1	0,4	0,3	0,1	5,6	0,6	0,3	0,4
160-170	17	6,3	74,1	6,3	2,6	0,3	0,8	0,5	5,6	0,6	0,3	0,4
170-180	18	8,6	60,8	10,5	5,0	0,5	0	0	5,6	0,6	0,3	0,4
180-190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
190-200	19	6,1	45,2	7	2,0	1,0	0	1,0	5,6	0,6	0,3	0,4
200-210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210-220	20	6,7	69,8	2	3,8	1,0	0	0,5	5,6	0,6	0,3	0,4

*Família Poaceae doi feita através da somatória das subfamílias Panicoideae, Pooideae, Chloridoideae e Bambusoideae.

Tabela com os valores relativos (%) das amostras ≥ 100 fitólitos e índices fitolíticos por amostra e por zona (Perfil 2).

Cm	Amostra Correspondente	Poaceae*	Eudicotiledoneae	Arecaceae	Índices Fitolíticos				Média dos índices por Zona			
					D/P	Iph	Ic	FS	D/P	Iph	Ic	FS
0-10	1	11,71	67,12	1,80	1,23	0	0,02	0,02	5,97	0	0,09	0,68
10-20	2	5,37	76,10	2,44	1,78	0	0,12	0,04	5,97	0	0,09	0,68
20-30	3	1,31	79,91	3,06	6,33	0	0,22	0,67	5,97	0	0,09	0,68
30-40	4	0	80,14	5,48	14,56	0	0	2	5,97	0	0,09	0,68
40-50	5	0	89,96	8,70	0	0	0	0	16,69	0,11	0,11	0,69
50-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-70	6	0	82,08	4,25	0	0	0	0	16,69	0,11	0,11	0,69
70-80	7	0,99	79,21	2,48	0	0	0	0	16,69	0,11	0,11	0,69
80-90	8	1,40	85,51	0	20,83	1	0,50	2	16,69	0,11	0,11	0,69
90-100	9	0	82,04	1,94	13	0,33	0	2,67	16,69	0,11	0,11	0,69
100-110	10	2,88	75,96	1,44	68	0	0	0	16,69	0,11	0,11	0,69
110-120	11	1,45	71,01	5,80	12,78	0,33	0	0,5	15,67	0,63	0	1,25
120-130	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
130-140	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
140-150	12	2,04	80,95	0	26,30	1	0	0,99	15,67	0,63	0	1,25
150-160	13	4,27	77,73	0,95	18	0	0	0,25	15,67	0,63	0	1,25
160-170	14	2,73	88,52	4,37	15	0,60	0,29	0,14	16,69	0,11	0,11	0,69
170-180	15	0,90	67,12	2,70	8,85	0,80	0	2	15,67	0,63	0	1,25
180-190	16	0,78	74,42	4,56	12,43	1	0	2,50	15,67	0,63	0	1,25
190-200	17	4,84	56,5	6,5	67	0	0	0	67	0	0	0

*A família Poaceae foi feita através da somatória das subfamílias Panicoideae, Pooideae, Chloridoideae e Bambusoideae.

Valores da composição isotópica da MOS dos perfis estudados na região de Piracicaba – SP.

Profundidade (cm)	$\delta^{13}C$ ‰ (Perfil 1)	$\delta^{13}C$ ‰ (Perfil 2)
0-10	-20,8215	-15,52
10-20	-22,4015	-17,27
20-30	-22,0635	-19,68
30-40	-21,9725	-22,59
40-50	-21,8308	-23,51
50-60	-22,0225	-23,72
60-70	-21,83	-24,11
70-80	-22,2565	-24,33
80-90	-20,826	-24,22
90-100	-19,6505	-24,58
100-110	-19,038	-24,53
110-120	-19,4245	-24,27
120-130	-18,0405	-24,49
130-140	-18,264	-24,21
140-150	-18,0863	-24,43
150-160	-17,256	-24,31
160-170	-16,29	-24,37
170-180	-16,5055	-24,18
180-190	-17,079	-24,26
190-200	-18,451	-24,54
200-210	-17,482	-24,22
210-220	-17,971	-23,77
220-230	-18,877	-23,55
230-240	-18,6005	-23,39
240-250	-18,7633	-23,24
250-260	-19,814	-22,90
260-270	-19,1055	-23,31
270-280	-18,8645	-22,97
280-290	-20,5085	-22,46
290-300	-19,0253	-22,01
300-310	-18,797	-21,89
310-320	-17,872	-21,45
320-330	-18,6855	-21,26
330-340	-18,924	-21,21
340-350	-20,1723	-21,43
350-360	-19,767	-21,25
360-370	-19,997	-21,88
370-380	-20,17	-21,85
380-390	-20,972	-21,94
390-400	-21,2335	-22,15
400-410	-21,2585	-
410-420	-21,7315	-
420-430	-20,8465	-
430-440	-20,503	-
440-450	-21,0593	-
450-460	-21,241	-
460-470	-21,585	-
470-480	-21,297	-
480-490	-20,894	-
490-500	-20,9458	-