



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

TESE DE DOUTORADO

**A EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DE TRANSIÇÃO SAVANA-
FLORESTA EM RORAIMA DURANTE O HOLOCENO
TARDIO: BASE MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA E
PALINOLÓGICA**

Tese apresentada por:

MARIA ECILENE NUNES DA SILVA MENESES

Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA)

**BELEM
2010**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

M543e Meneses, Maria Ecilene Nunes da Silva

A Evolução da paisagem de transição savana-floresta em Roraima durante o Holoceno tardio: base mineralógica, geoquímica e palinológica / Maria Ecilene Nunes da Silva Meneses; Orientador: Marcondes Lima da Costa – 2010
xviii, 149 f.: il.

Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

1. Mudanças climáticas. 2. Evolução da paisagem. 3. Freqüência de fogos. 4. Holoceno tardio. 5. Palinologia. 6. Mineralogia. 7. Geoquímica. 8. Transição savana-floresta. 9. Estado de Roraima (RR). I. Universidade Federal do Pará II. Costa, Marcondes Lima da, *orient.* III. Título.

CDD 20º ed.: 551.698114



Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**A EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DE TRANSIÇÃO SAVANA-
FLORESTA EM RORAIMA DURANTE O HOLOCENO TARDIO:
BASE MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA E PALINOLÓGICA**

TESE APRESENTADA POR

MARIA ECILENE NUNES DA SILVA MENESES

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutora em
Ciências na Área de **GEOQUÍMICA E PETROLOGIA**

Data de Aprovação: **10 / 01 / 2011**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. MARCONDES LIMA DA COSTA
(Orientador - UFPA)

Prof. Dr. HERMANN BEHLING
(Membro - Universidade de Göttingen)

Prof. Dra. SORAIA GIRARDI BAUERMAN
(Membro - ULBRA)

Prof. Dr. ROMULO SIMÕES ANGÉLICA
(Membro - UFPA)

Prof. Dra. SUSY ELI MARQUES GOUVEIA
(Membro - UFPA)

*Aos amores da minha vida, Mayane,
Andrew e Laís (filhos), André (marido),
Neusa e Raimundo (pais), com amor,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, pela saúde, pela família, pelos amigos, pelo conhecimento, enfim por tudo;

Ao meu orientador Dr. Marcondes Lima da Costa pela valiosa orientação, ensinamentos, amizade, apoio, compreensão, além do apoio nos trabalhos de campo;

Ao CNPq pela bolsa de doutorado e apoio através do projeto AGEOPAM (Afinidades Geoquímicas entre Terra Firme, Planície de Inundação Holocênica e Atual na Amazônia) coordenado pelo Dr. Marcondes Lima da Costa.

Ao DAAD pelo suporte financeiro através do programa “Auxílio para Estadia de Curta Duração” que viabilizou os trabalhos realizados na Alemanha;

À Universidade Federal do Pará através do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências pela oportunidade do doutoramento;

Ao Dr. Hermann Behling pelas orientações e sugestões de trabalho, pelo convite que me levou à Universidade de Göttingen onde pude realizar as análises palinológicas, elaborar os diagramas polínicos e discutir com ele os resultados obtidos. Por todo o suporte e apoio que possibilitaram a execução de grande parte trabalho.

Aos membros da banca julgadora do exame de qualificação, Drs. Hermann Behling, Adriana Maria Horbe e Werner Truckenbrodt pelas indispensáveis sugestões que contribuíram consideravelmente para a execução desta pesquisa;

A Dra. Cristina Senna por disponibilizar o uso de laboratórios do Museu Paraense Emílio Goeldi, o que viabilizou a realização de parte das análises palinológicas;

A Dra. Márcia Barros pelos esclarecimentos dados por ocasião do curso de Palinologia ministrado por ela na UFRJ, e também à Shana Misumi por todo o apoio recebido.

A Dra. Maria Lúcia Absy pela ajuda na identificação polínica e sugestões na preparação de lâminas para as análises palinológicas e pelas palavras de incentivo;

Ao Dr. José Augusto Vieira Costa que muito me apoiou na fase inicial deste trabalho, principalmente na organização dos trabalhos de campo;

Ao Dr. Marcelo Cohen pelo apoio na primeira etapa dos trabalhos de campo, por permitir o uso de laboratório e reagentes para o processamento químico das amostras destinadas às análises palinológicas;

À querida amiga Vivian Jeske-Pieruschka por toda a ajuda com o software TGVIEW na construção dos diagramas polínicos e, sobretudo, pela atenção que me dispensou quando estive em Göttingen, tornando minha estadia muito mais agradável e produtiva. Pelos passeios e jantares cheios de requinte e sabor promovidos por ela e seu esposo Marius (um verdadeiro chef), agradeço aos dois;

À querida amiga Ludmilla Shumilovskikh pela acolhida em sua casa, pelo carinho e pelos alegres momentos que passamos juntas no Departamento de Palinologia da Universidade de Göttingen;

À Nilselene Behling e às crianças Laura e Joni pela tão calorosa acolhida em sua casa, por todo o carinho e a atenção a mim dispensados, que fizeram toda a diferença no glacial inverno alemão.

Aos colegas do Departamento of Palinologia da Universidade de Göttingen Bárbara, Lisa, Nele, e Sarah pela recepção e alegre convívio;

Ao meu marido André, grande amigo de todas as horas, pela força, companheirismo, paciência, apoio e carinho constantes. Pela ajuda nas coletas de campo e processamento das amostras em laboratório e por tudo mais.

Aos meus filhos queridos Ingrid Mayane, Andrew Jonathas e Laís Susanne por entenderem o meu cansaço e perdoarem a minhas ausências e, sobretudo, por darem sentido à minha vida.

À minha grande mãe Neusa, incentivadora e amiga que sempre me apóia, me acode e me encoraja; pelo seu exemplo de luta e pelas suas orações. Ao meu pai Raimundo que sempre me estende a mão e aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos que sempre torcem por mim, especialmente a Leidian e Carli;

Aos meus sogros João Saraiva e Fernanda pelo apoio e torcida;

Aos queridos colegas e amigos do GMGA: Henrique, Flávia, Mônia, Jucilene, Socorro, Marlis, Gilberto, Cleise, Glayce, Uibirá, Lourdes, Risete, Gisele, Sérgio, Rêgo, Bruno, Joana e Kika pela feliz convivência durante todos esses anos;

À Bruna, minha querida assistente pelo apoio na realização das análises granulométricas e mineralógicas e aos técnicos dos laboratórios do IG – UFPA, Lopes, Cristiane e Natalino pelo apoio;

Ao Roberto Caleffi meu ajudante de campo, por entrar em lagos e veredas e cutucar árvores e palmeiras para coletar as mais inacessíveis flores para compor a palinoteca de referência;

À Clarisse Beltrão pela amizade e pelas risadas;

À Mireide Queiroz pela ajuda em Manaus e pela amizade;

À Cleida Freitas pela amizade, presteza e eficiência de sempre com os assuntos da secretaria do PPGG;

À Lúcia Imbiriba pela atenção e eficiência com tudo que lhe foi solicitado;

Muito obrigada.

RESUMO

A Amazônia compreende diversas fisionomias vegetais, além da vasta e amplamente difundida floresta tropical. As savanas, por exemplo, estão presentes em várias partes como manchas descontínuas, ou cobrindo extensas áreas como é o caso das savanas encontradas nas porções norte e nordeste do estado de Roraima. Estas savanas pertencem ao chamado Complexo Rio Branco-Rupununi considerado o maior bloco contínuo desse tipo de vegetação na Amazônia brasileira, que no estado de Roraima atinge 41.000 km² de um total de 53.000 km², sendo limitado ao sul e a oeste pelas florestas tropicais. Visando entender a dinâmica da cobertura vegetal e a evolução dessa paisagem como um todo, frente às possíveis mudanças climáticas ocorridas ao longo do tempo geológico, foi realizado o presente estudo. A área selecionada para este trabalho representa uma faixa de transição entre as savanas e florestas na porção ocidental do bloco de savanas, onde quatro topossequências (FC, FH, TIA e RU) representativas dos padrões de relevo, cobertura vegetal e pedológica foram selecionadas para amostragem. Dessa forma, amostras da cobertura regolítica foram coletadas a partir da base das topossequências (veredas) até o topo seguindo as aparentes variações cromáticas e texturais dos materiais. Adicionalmente, outras duas veredas (AM e MB) foram também amostradas. As amostras destes regolitos foram submetidas às análises granulométricas via úmida; mineralógicas por DRX; e químicas (elementos maiores e traços) por ICP-MS e FRX. Os sedimentos das veredas foram ainda datados pelo método radiocarbono empregando-se a técnica AMS (Accelerator Mass Spectrometry) e submetidos a análises palinológicas, incluindo-se a quantificação das micro-partículas de carvão presentes nos mesmos. Os regolitos da área estudada variam de arenosos a areno-sílticos sendo compostos majoritariamente por quartzo e caulinita, e em menores proporções por muscovita, sillimanita, goethita, microclínio e albita. Os teores elevados de SiO₂ confirmam o caráter essencialmente quartzoso destes regolitos, enquanto que os valores de Al₂O₃ mais expressivos nas zonas saprolíticas mosqueadas e nos sedimentos das veredas refletem a maior participação da caulinita, único argilomineral presente nas amostras. As composições mineralógicas e químicas destes materiais indicam proveniência de rochas metamórficas e de lateritos da região, que diante de condições climáticas úmidas e quentes tem sofrido intenso intemperismo químico e lixiviação. O surgimento e amplo desenvolvimento de veredas de *Mauritia flexuosa* a partir de 1550 anos AP nessa região, como demonstram as análises palinológicas, corrobora o aumento de umidade na região, o que também favoreceu a expansão de florestas. De fato, árvores de *Virola*, *Alchornea*, Melastomataceae e Moraceae entre outras ocorreram com

freqüência indicando que florestas de galerias e manchas de florestas secundárias indicadas pelos gêneros *Didymopanax*, *Cecropia* e *Attalea* se desenvolveram na região na maior parte do tempo registrado. Apesar dessas condições úmidas, há registros de redução das florestas por volta de 1400-1100 anos (vereda FC), 900-200 anos (veredas AM e FC) e entre 700 e 300 anos (vereda TIA) em favor da expansão das savanas. É provável que a redução de florestas durante esses períodos tenha sido provocada pelo aumento na intensidade de fogos (provavelmente antrópicos) inferido pela mais alta concentração de partículas carbonizadas nos sedimentos prévia e simultaneamente a essa diminuição da cobertura florestal. Estes fogos ainda são comuns na região com maior freqüência nas proximidades de assentamentos humanos (indígenas) e fazendas de gado e possivelmente exercem algum impedimento à expansão das florestas. Embora, condições alternadas de hidromorfismo e estresse hídrico também contribuam para impedir esta expansão. As características granulométricas, mineralógicas e químicas da cobertura regolítica e os registros palinológicos e cronológicos dos sedimentos das veredas permitem interpretar que a paisagem de transição savana-floresta estudada, marcada atualmente por um complexo mosaico de savanas gramíneas e/ou arbóreas, recortadas por extensas veredas de *Mauritia flexuosa*, corredores de matas de galerias, ilhas de florestas, sobre regolitos arenosos, quartzosos e caulíníticos é condizente com as atuais condições climáticas quentes e úmidas prevalecentes na região a partir do Holoceno Tardio. Em contrapartida, feições tais como linhas de pedras compostas por fragmentos de quartzo e de crostas lateríticas denotam eventos erosivos provavelmente ocorridos no Pleistoceno Tardio e até mesmo no Holoceno Médio quando climas secos a semi-áridos dominaram a região. Assim, a paisagem em questão tem sido palco de intensas transformações ecológicas e geomorfológicas fomentadas principalmente pelas mudanças climáticas impostas à região, embora o homem pré-histórico e também moderno também tenha contribuído, no sentido de retardar a expansão das florestas sobre as savanas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Evolução da paisagem. Freqüência de fogos. Holoceno Tardio. Palinologia. Mineralogia. Geoquímica. Transição savana-floresta. Roraima (RR).

ABSTRACT

The Amazonia includes several vegetation physiognomies, besides the large and well-known tropical forest. The savannas, for instance, are present in several areas as discontinuous patches or covering extensive areas as it is the case of the savannas found in the north and northeast portions of the Roraima state. These savannas belong to the so-called Rio Branco-Rupununi Complex considered the largest continuous block of that vegetation type in the Brazilian Amazonian which in the state of Roraima covers about 41.000 km² of a total of 53.000 km² being limited to the south and west by tropical forests. In order to understand the vegetational dynamic and the evolution of the whole landscape in face of the possible climatic changes occurred along the geological time, the present study was carried out. The chosen area for this work represents a zone of transition between savannas and forests in the western portion of the savanna block, where four topossequences (FC, FH, TIA and RU) representative of the relief, vegetation and pedological cover patterns were selected for sampling. Then, samples of the regolith cover were collected starting at the base of the topossequences (*veredas*) until their top parts following the visible texture and color variations of the materials. Additionally, other two *veredas* (AM and MB) were also cored. These regoliths samples were submitted to analyses such as granulometrical by wet sieving; mineralogical by XRD and chemical (major and trace elements) by ICP-MS and XRF methods. The sediments of the *veredas* were still dated by radiocarbon method using the AMS (Accelerator Mass Spectrometry) technique, and also submitted to palynological analyses including the counting of charred particles. The regoliths of the studied area vary of sandy to silty sand textures being composed by quartz and kaolinite, and in minor amounts by muscovite, sillimanite, goethite, microcline and albite. The high values of SiO₂ confirm the quartzose character of these regoliths, while the values of Al₂O₃, more expressive in the saprolite and in the sediments from *veredas* reflect the higher participation of the kaolinite, which is the single clay mineral identified in these samples. The mineralogical and chemical compositions of these materials indicate provenience of metamorphic rocks and laterites that faced with warm and wet climatic conditions have been suffered strong chemical weathering and leaching. The formation and wide development of *vereda* of *Mauritia flexuosa* since about 1550 years BP as showed by the pollen analyses corroborate the humidity increase in the area, which also favored the expansion of forests. In fact, trees of *Virola*, *Alchornea*, Melastomataceae and Moraceae among other were frequent suggesting that gallery forests as well as patches of secondary forests indicated by *Didymopanax*, *Cecropia* and *Attalea*

occurred in this region in the most of the recorded period. In spite of those humid conditions, there are records of reduction of the forests about 1400-1100 years (FC), 900-200 years (AM and FC) and between 700 and 300 years (site TIA) in favor of the expansion of the savannas. It is probable that the reduction of forests during those periods has been provoked by the increase in the intensity of fires, inferred by the highest concentration of charred particles in the sediments, prior and during the forest cover decrease. These fires are still common in the area, being more frequent in the neighborhoods of human establishments (indigenous) and cattle farms where they possibly work as a barrier to forest expansion. Although, alternate hydromorphic and hydrological stress conditions also contribute to prevent a forest expansion. The granulometrical, mineralogical and geochemical characteristics of the regolith cover combined to the sediments pollen and ages records allowed to interpret that the studied savanna-forest landscape, which is currently marked by a complex mosaic of grassy and woody savanna crossed by *veredas* of *Mauritia flexuosa*, gallery forest corridors and islands of forest covering sandy, quartzose and kaolinitic regoliths agree with the modern warm and wet climate conditions prevailing in this region since the Late Holocene. In compensation, features such as stone lines composed by fragments of quartz and crusts denote erosive events occurred probably in the Late Pleistocene and even in the Medium Holocene when dry to arid climates dominated the region. Then, the regarded landscape has been a stage of intense ecological and geomorphological transformations fomented mainly by the climatic changes imposed to the area, although the prehistoric and the modern man has also contributed, in the sense of delaying the expansion of the forests on the savannas.

Key-words: Climatic Changes. Evolution of the landscape. Fires frequency. Late Holocene. Palynology. Mineralogy. Geochemistry. Savanna-forest transition area. Roraima (RR).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS	Pág.
Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo (mapa em detalhe gerado por fotointerpretação a partir de imagem de satélite Landsat TM 5 obtida em 2007).....	4
Figura 2 - Distribuição dos tipos climáticos ocorrentes no estado de Roraima segundo a classificação de Köppen	5
Figura 3 - Distribuição dos valores de precipitação e temperatura ao longo do ano na região de savanas de Roraima.....	6
Figura 4 - Savana graminosa tipo campo limpo composta essencialmente por espécies graminóides (a) e tipo campo sujo onde o estrato graminoso é intercalado por espécies arbustivas (b).....	7
Figura 5 - Veredas de buritis serpenteando a paisagem de savanas; ao lado direito, detalhe do interior dessas veredas, evidenciando o seu caráter brejoso.....	8
Figura 6 - Trecho representativo da zona de transição savana-floresta onde ambas as formações se interdigitam.....	8
Figura 7 - Mapa geológico representando as principais unidades geológicas encontradas na região de estudo e arredores.....	9
Figura 8 - Mapa destacando os locais de amostragem de solos e sedimentos em topossequências: FC – Fazenda Cigana; FH – Fazenda Humaitá; TIA – Terra Indígena Aningal; RU – próximo ao rio Uraricoera; e de sedimentos em mais duas veredas: AM –Amajari e MB – Maloca do Boqueirão.....	23
Figura 9 - Trado russo contendo testemunho sedimentar retirado da vereda da topossequência FC no intervalo de 100 a 150 centímetros de profundidade...	25
Figura 10 - Modelo esquemático de evolução da paisagem de transição savana-floresta estudada, desde o Pleistoceno até o momento atual.....	123
4 A EVOLUÇÃO HOLOCÊNICA TARDIA DA PAISAGEM TRANSICIONAL SAVANA-FLORESTA SUPOSTADA PELA MINERALOGIA E QUÍMICA DOS REGOLITOS: O CASO RORAIMA	
Figura 1 - Localização geográfica da área estudada inserida em uma área de transição savana-floresta e dos locais de amostragem das topossequências: FC – Fazenda Cigana; FH – Fazenda Humaitá; TIA – junto a Terra Indígena Aningal e RU – Rio Uraricoera.....	32

- Figura 2 - Aspectos da cobertura vegetal da paisagem de transição savana-floresta: A) savana graminosa com veredas de buritis ao fundo; B) savana arbórea dominada por *Curatella americana* e *Byrsonima crassifolia*; C) Extensas veredas recortando as savanas; D) Ilhas circulares de floresta ocupando áreas mais elevadas do terreno, destaque também para vereda de buritis e brejos ocupando suaves depressões..... 34
- Figura 3 - Esquemas longitudinais das topossequências, destacando os pontos de sondagem e amostragem e mostrando a distribuição da cobertura vegetal e pedológica ao longo das vertentes. A - Fazenda Cigana (FC); B - Fazenda Humaitá (FH); C - Terra Indígena Aningal (TIA); D - Rio Uraricoera (RU)..... 37
- Figura 4 - Tapete superficial formado pelo acúmulo de esferolitos e fragmentos de OHFe e de quartzo, em consequência da lixiviação dos finos por run off, instalados sobre e em parte derivados dos solos areno-sílticos amarelados no topo alto das vertentes (A); solo arenoso, tendo na base linha de pedra composta por fragmentos de quartzo e restritamente de crostas ferruginosas entre e sobreposta ao saprólito mosqueado (B)..... 38
- Figura 5 - Difractogramas de raios-x ($CoK\alpha$) mostrando as fases mineralógicas nos sedimentos das veredas FC (A) e TIA (B): quartzo (Qtz), caulinita (Kln), muscovita (Ms) microclínio (Mc), albita (Ab) e sillimanita..... 42
- Figura 6 - Distribuição dos teores médios dos elementos maiores e perda ao fogo (PF) nos diferentes regolitos das topossequências..... 43
- Figura 7 - Normalização dos valores médios dos elementos maiores nos regolitos em relação à CTS (A), a partir dos dados de Wedepohl (1995) e em relação ao padrão PAAS (B), segundo dados de Taylor & McLennan (1985)..... 44
- Figura 8 - Diferentes índices de alteração química para os materiais regolíticos da área de transição savana-floresta de Roraima, comparados entre si e aos padrões CTS (Wedepohl 1995); PAAS (Taylor & McLennan 1985); Rio Branco e Formação Boa Vista (Meneses *et al.*, 2007). Índices de intemperismo: CIA: “Chemical Index of Alteration”; CIW: “Chemical Index of Weathering”; STI: “Silica – Titania Index”..... 45
- Figura 9 - Diagramas ternários comparando entre si a composição química dos diferentes regolitos, evidenciando o enriquecimento em SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e K_2O e empobrecimento nos álcalis (CaO , MgO , Na_2O)..... 46
- Figura 10 - Distribuição das concentrações de SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , TiO_2 , K_2O e MO (matéria orgânica) ao longo dos perfis de sedimentos das veredas: FC – Fazenda Cigana; TIA – Terra Indígena Aningal e RU – Rio Uraricoera..... 47
- Figura 11 - Normalização dos valores médios de concentração dos elementos traços em relação à crosta terrestre (dados de Wedepohl 1995)..... 48

Figura 12 - Normalização dos valores médios de concentração dos elementos terras raras em relação à crosta terrestre (dados de Wedepohl 1995) (acima); e em relação aos condritos (dados de Evensen <i>et al.</i> 1978) (abaixo).....	49
---	----

5 LATE HOLOCENE VEGETATION AND FIRE DYNAMICS FROM A SAVANNA - FOREST ECOTONE AREA INFERRED FROM *MAURITIA FLEXUOSA* PALM SWAMPS (VEREDAS) RECORDS IN RORAIMA STATE, NORTHERN BRAZILIAN AMAZON REGION

	Pág.
Fig. 1. Map showing the studied sites from the savanna – forest ecotone area in Roraima state, situated in the northernmost portion of Amazon region in the Brazil. FC – Fazenda Cigana; TIA – Terra Indígena Aningal.....	59
Fig. 2. Partial view of the savanna – forest ecotonal area in the studied region and corridors of <i>Mauritia flexuosa</i> palm swamp (veredas) crossing the savanna areas.....	60
Fig. 3. Schematic profiles showing the vegetation and regoliths (dark fine organic sediment; white sand, yellow oxisol, stone line and mottled clay horizon) distribution in the Terra Indígena Aningal (TIA) core site (A) and in the Fazenda Cigana (FC) core site (B).....	61
Fig. 4. Pollen percentage diagram of core Terra Indígena Aningal – TIA .The most important taxa are presented and grouped into Vereda, Grassy savanna, Woody savanna, Forest, Palms and Pteridophyta.....	66
Fig. 5. Summary pollen percentage diagram of the core Terra Indígena Aningal (TIA) with the AMS radiocarbon dates, age scale, lithology, sums of vegetation groups, pollen and charcoal concentration as well as pollen and charcoal influx and pollen zones.....	67
Fig. 6. Detailed pollen percentage diagram of core Fazenda Cigana (FC). The most important taxa are presented and grouped into Vereda, Grassy savanna, Woody savanna, Forest, Palms and Pteridophyta.....	71
Fig. 7. Summary pollen percentage diagram of the core FC with the AMS radiocarbon dates, age scale, lithology, sums of vegetation groups, pollen and charcoal concentration as well as pollen and charcoal influx and pollen zones.....	72

6 ENVIRONMENTAL CHANGES DURING THE LAST MILLENNIUM BASED ON MULTI-PROXY PALAEOECOLOGICAL RECORDS IN A SAVANNA-FOREST MOSAIC FROM THE NORTHERNMOST BRAZILIAN AMAZON REGION

	Pág.
Fig. 1. Map showing the study sites in the savanna-forest mosaic in the Roraima state, northern Brazilian Amazon region: AM - Amajari; RU - Uraricoera river; MB -Maloca do Boqueirão.....	87
Fig. 2. Distribution of the modern pollen surface samples (1-17) around AM site...	91

Fig. 3.	X-ray diffraction of AM core that represent patterns of the main minerals found in the cores sediments (quartz - Qtz; kaolinite- Kln; sillimanite-Sil; muscovite-Ms; microcline- Mc; albite -Ab).....	93
Fig. 4.	Diagram showing the element profiles and ratios of the XRF scanning analysis in the AM core, the lithology, ages and recognized zones.....	94
Fig. 5.	Diagram showing the modern pollen rain percentages of the most frequent taxa as well as the sums, pollen and charcoal concentration.....	97
Fig. 6.	Pollen percentage diagram of AM core showing the most important taxa grouped into Palm swamp or vereda, Grassy savanna, Woody savanna, Forest and gallery forest, Palms and Pteridophyta.....	103
Fig. 7.	Summary pollen percentage diagram of the core AM with the AMS radiocarbon dates, age scale, lithology, sums of vegetation groups, pollen and charcoal concentration as well as pollen and charcoal influx and pollen zones.....	104
Fig. 8.	Pollen percentage diagram of MB core showing the most important taxa grouped into Palm swamp or vereda, Grassy savanna, Woody savanna, Forest and gallery forest, Palms and Pteridophyta.....	107
Fig. 9.	Summary pollen percentage diagram of the core MB with the AMS radiocarbon dates, age scale, lithology, sums of vegetation groups, pollen and charcoal concentration as well as pollen and charcoal influx and pollen zones.....	108
Fig. 10.	Pollen percentage and summary diagram of the RU core showing the AMS radiocarbon dates, the lithology, selected pollen and spore taxa grouped into Vereda, Grassy savanna, Woody savanna, Forest, Palms and Pteridophyta, besides of pollen and charcoal concentration.....	109

TABELAS

4 A EVOLUÇÃO HOLOCÊNICA TARDIA DA PAISAGEM TRANSICIONAL SAVANA-FLORESTA SUPOSTADA PELA MINERALOGIA E QUÍMICA DOS REGOLITOS: O CASO RORAIMA

	Pág.
Tabela 1 - Atributos granulométricos, texturais e cromáticos dos regolitos (saprólito pálido e mosqueado, solos e linhas de pedras), que constituem as topossequências.....	39
Tabela 2 - Descrição litológica e cronologia basal dos sedimentos das veredas situadas nos vales das topossequências estudadas.....	40

5 LATE HOLOCENE VEGETATION AND FIRE DYNAMICS FROM A SAVANNA - FOREST ECOTONE AREA INFERRED FROM *MAURITIA FLEXUOSA* PALM SWAMPS (VEREDAS) RECORDS IN RORAIMA STATE, NORTHERN BRAZILIAN AMAZON REGION

	Pág.
Table 1 - Stratigraphic description of the Terra Indígena Aníngal (TIA) and Fazenda Cigana (FC) cores.....	63
Table 2 - AMS-radiocarbon dates and calibrated ages of the two palm swamp cores from savanna-forest ecotone area.....	63

6 ENVIRONMENTAL CHANGES DURING THE LAST MILLENNIUM BASED ON MULTI-PROXY PALAEOECOLOGICAL RECORDS IN A SAVANNA-FOREST MOSAIC FROM THE NORTHERNMOST BRAZILIAN AMAZON REGION

	Pág.
Table 1 - List of savanna, gallery forest and semi-deciduous forest islands families and species according regional inventories from Roraima region and field observations.....	88
Table 2 - Radiocarbon and calibrated dates for the studied cores.....	92
Table 3 - List of identified pollen and spores in the modern pollen rain of the surface sediments samples around AM core site, arranged conform their preferential ecological community.....	98

SUMÁRIO

	Pág.
DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 HIPÓTESE DE TRABALHO.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 CARACTERIZAÇÃO REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	3
1.3.1 Localização geográfica	3
1.3.2 Aspectos climáticos regionais	4
1.3.3 Cobertura vegetal	6
1.3.4 Contexto geológico	9
1.3.5 Geomorfologia e solos	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 A DINÂMICA DAS FLORESTAS E SAVANAS AMAZÔNICAS DURANTE O PLEISTOCENO E HOLOCENO.....	12
2.2 AS VEREDAS: ASPECTOS GENÉTICOS E AMBIENTAIS.....	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 AMOSTRAGEM.....	23
3.1.1 Coleta dos solos	24
3.1.2 Coleta de sedimentos	24
3.2 ANÁLISES LABORATORIAIS.....	25
3.2.1 Descrição macroscópica	25
3.2.2 Análises granulométricas	25
3.2.2.1 Separação das frações areia, silte e argila.....	25
3.2.2.2 Grau de arredondamento e esfericidade dos grãos de areia.....	26
3.2.3 Análises mineralógicas	26
3.2.4 Análises químicas	27
3.2.5 Análises palinológicas	27
3.2.5.1 Análises dos testemunhos sedimentares.....	27
3.2.5.2 Determinação da chuva polínica atual.....	29
3.2.6 Datação radiocarbônica	29
4 A EVOLUÇÃO HOLOCÊNICA TARDIA DA PAISAGEM TRANSICIONAL SAVANA-FLORESTA SUPOSTADA PELA MINERALOGIA E QUÍMICA DOS REGOLITOS: O CASO RORAIMA ...	30
Resumo	30
Abstract	30
INTRODUÇÃO	31

	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS REGIONAIS.....	32
	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
	Amostragem.....	34
	Análises granulométricas.....	35
	Análises mineralógicas e químicas.....	35
	Datação radiocarbônica dos sedimentos.....	35
	RESULTADOS.....	36
	As toposequências e os solos.....	36
	Os sedimentos das veredas: aspectos litológicos e cronológicos.....	40
	Mineralogia.....	40
	Composição química.....	43
	ELEMENTOS MAIORES E MENORES.....	43
	ELEMENTOS TRAÇOS E TERRAS RARAS.....	48
	DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	50
	Agradecimentos.....	52
	Referências.....	52
5	LATE HOLOCENE VEGETATION AND FIRE DYNAMICS FROM A SAVANNA - FOREST ECOTONE AREA INFERRED FROM <i>MAURITIA FLEXUOSA</i> PALM SWAMPS (VEREDAS) RECORDS IN RORAIMA STATE, NORTHERN BRAZILIAN AMAZON REGION.....	56
	Abstract.....	56
	1. Introduction.....	57
	2. Environmental setting.....	58
	3. Material and methods.....	61
	4. Results.....	62
	4.1 Stratigraphy.....	62
	4.2 Chronology.....	63
	4.3 Description of the Terra Indígena Aningal (TIA) core pollen diagram.....	64
	4.4 Description of the Fazenda Cigana (FC) core pollen diagram.....	68
	5. Interpretation and discussion.....	73
	5.1 Vegetation dynamics and fire frequency.....	73
	6. Conclusion.....	78
	Acknowledgements.....	79
	References.....	79
6	ENVIRONMENTAL CHANGES DURING THE LAST MILLENNIUM BASED ON MULTI-PROXY PALAEOECOLOGICAL RECORDS IN A SAVANNA-FOREST MOSAIC FROM THE NORTHERNMOST BRAZILIAN AMAZON REGION.....	83
	Abstract.....	83
	1. Introduction.....	83
	2. Environmental setting.....	85
	2.1 Location.....	85
	2.2 Climate.....	85
	2.3 Modern vegetation.....	86
	3. Materials and Methods.....	90
	3.1 Sampling and pollen analysis.....	90
	3.2 Modern pollen rain.....	90

3.3 Mineralogical and chemical analysis.....	92
4. Results	92
4.1 Sediment texture.....	92
4.2 Chronology.....	92
4.3 Mineralogy.....	93
4.4 XRF chemical data.....	93
4.5 Modern pollen rain.....	95
4.5.1 Modern pollen from <i>Mauritia</i> palm swamp (sites 1-6).....	95
4.5.2 Modern pollen from semi-deciduous forest island (samples 7-10).....	95
4.5.3 Modern pollen from savanna area (samples 11-17).....	96
4.6 Modern pollen – vegetation relationship and environments comparisons.....	98
4.7 Description of the AM core diagrams.....	100
4.8 Description of the MB core diagrams.....	105
4.9 Description of the RU core diagrams.....	106
5. Discussion	110
5.1. Environmental changes: climate, vegetation and fire dynamics.....	110
6. Conclusions	115
Acknowledgements	116
References	116
7 CONCLUSÕES	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXOS	137

1 INTRODUÇÃO

A região amazônica compreende diversas fisionomias vegetais, além da extensa e amplamente difundida floresta tropical. As savanas, por exemplo, estão presentes desde o sul, como na região de Humaitá, no sul do estado do Amazonas, e Porto Velho, no estado de Rondônia, onde aparecem em manchas descontínuas (Gouveia *et al.* 1997; Pessenda *et al.* 1998), até a zona mais setentrional da região, onde ocupam a porção norte e nordeste do estado de Roraima. Nessa área as savanas constituem uma das mais extensas formações savânicas contínuas da América do Sul, com cerca de 54.000 km² de extensão, dos quais 41.000 km² estão em território roraimense e os demais no país limítrofe, a saber, República das Guianas, se estendendo até os limites do rio Rupununi e por isso são denominadas Complexo Rio Branco-Rupununi (Sarmiento & Monasterio 1975).

Na tentativa de melhor compreender a paisagem de savanas de Roraima e identificar a natureza dos fatores que levaram à sua formação e atual configuração, alguns estudos já foram realizados, entre os quais se destacam os trabalhos de Absy (1979), Schaefer & Dalrymple (1996), Desjardins *et al.* (1996), Simões Filho (2000) e Rodrigues (2006). Além do mosaico de savanas e florestas, feições geomorfológicas tais como campos de paleodunas dispostos em várias locais de Roraima, tanto em áreas atualmente sob vegetação de floresta como em áreas de savanas (Latrubesse & Nelson 2001; Carneiro Filho *et al.* 2003); antigas superfícies aplainadas; remanescentes de crostas lateríticas (Ruellan 1957); amplo sistema lacustre (Barbosa & Ramos 1959) e linhas de pedras (Schaefer 1994) também têm motivado questionamentos a respeito dos processos climáticos que dinamizaram a evolução dessa região, e, a julgar por essas evidências pode-se inferir que as mudanças ambientais ocorridas nessa região foram sobremaneira apreciáveis.

Não obstante, as importantes contribuições dadas ao conhecimento da história paleoambiental de Roraima, as informações disponíveis ainda são insuficientes para definir claramente um modelo de evolução ambiental aplicável a essa região. Nesse sentido, esta pesquisa pretende, com base na combinação de dados mineralógicos, geoquímicos, palinológicos e geocronológicos obtidos a partir dos regolitos (solos, sedimentos, saprólitos, etc) dessa paisagem, contribuir para o reconhecimento e interpretação de possíveis mudanças ambientais e climáticas ocorridas nesta paisagem ao longo do Holoceno Tardio e assim relacioná-las às transformações e dinâmica atuais dessa paisagem.

A área contemplada pelo presente trabalho situa-se em uma faixa de transição entre as savanas e a floresta tropical, onde a variedade de fisionomias vegetais, coberturas pedológicas e feições geomorfológicas presentes na paisagem, motivaram a escolha da mesma para o

desenvolvimento do presente estudo. Incluem-se nesse cenário, savanas gramíneas e arbóreas permeadas por extensas veredas de buritis e formações florestais que ora se traduzem em ilhas fincadas no alto de morrotes ou de suas encostas em meio às savanas, ora como mata de galeria ao longo de cursos d'água perenes (igarapés). Como substrato desse conjunto panorâmico destacam-se solos com aspectos diversos (amarelos, vermelhos e esbranquiçados) que recobrem um relevo que varia de plano a ondulado e mesmo colinoso.

1.1 HIPÓTESE DE TRABALHO

A pesquisa se baseia no pressuposto de que as savanas atualmente presentes na região de estudo constituem-se relíquias de um momento pretérito em que ocuparam áreas relativamente maiores, favorecidas então, por condições climáticas mais secas que as atuais. Progressivamente essas savanas estariam recuando em favor das florestas cuja expansão deve-se provavelmente ao aumento da umidade, semelhantemente ao que vem ocorrendo em diversas regiões da América do Sul, demonstrado em diversos estudos (Behling & Hooghiemstra 2000; Gouveia *et al.* 1997; Freitas *et al.* 2001).

O avanço da floresta sobre as savanas em decorrência de condições climáticas mais úmidas contribui para a modificação da paisagem no conjunto de seus aspectos ecológicos, geomorfológicos e químico-mineralógicos. Assim sendo, cabe investigar como se desenvolve este processo, quais são os mecanismos envolvidos, e quando começou a acontecer.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Compreender a evolução da paisagem de transição savana-floresta do norte do estado de Roraima, inferir sobre flutuações paleoclimáticas que possivelmente tenham ocorrido na região e avaliar como estas têm influenciado na dinâmica pretérita e atual dessa paisagem do ponto de vista ecológico, geomorfológico e químico-mineralógico.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a cobertura regolítica da região quanto a sua natureza granulométrica, mineralógica e química, buscando correlações genéticas entre si e com o substrato subjacente e/ou adjacente;

- Entender como as variações na composição mineralógica e química dos regolitos refletem possíveis mudanças na paisagem, em função de mudanças nos tipos climáticos, vegetação e relevo;
- Conhecer a dinâmica da cobertura vegetal ao longo do Holoceno Tardio através de estudos palinológicos de sedimentos de veredas;
- Determinar a atual chuva polínica na região, correlacionando-na com a vegetação local, com vistas a melhor interpretar os resultados dos registros sedimentares;
- Analisar a frequência do fogo (natural ou antrópico) ao longo dos registros e averiguar a sua importância no contexto evolutivo da cobertura vegetal;
- Realizar datações radiocarbônicas nos sedimentos das veredas numa tentativa de precisar as possíveis mudanças paleoambientais que atingiram a região;
- E finalmente, compreender a dinâmica dos elementos que compõem a paisagem regional e contribuir para o conhecimento paleoambiental e paleoclimático de Roraima.

1.3 CARACTERIZAÇÃO REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO

1.3.1 Localização geográfica

A área selecionada para o desenvolvimento deste estudo está localizada na porção norte do estado de Roraima entre as coordenadas 3° 00' e 3°, 42' N e 60° 48' e 61° 30' W (Fig. 1).

Essa área insere-se nos domínios dos municípios de Amajari (principalmente) e Alto Alegre situados a noroeste e oeste da cidade de Boa Vista (capital do Estado) respectivamente. O acesso aos locais de coleta, situados nos arredores de Amajari, é feito através da rodovia federal BR 174 (Manaus – Venezuela) seguindo – se rumo norte e pela rodovia estadual RR 203 que interliga a BR 174 (rumo oeste) à sede do referido município. Já o acesso ao local de coleta localizado nos arredores do município de Alto Alegre é dado pela rodovia estadual RR 205 que também no sentido oeste faz interligação entre este município e a cidade de Boa Vista. A partir de estradas secundárias não pavimentadas ligadas às sedes destes municípios e às rodovias principais, outros pontos de observação e de coleta puderam ser alcançados.

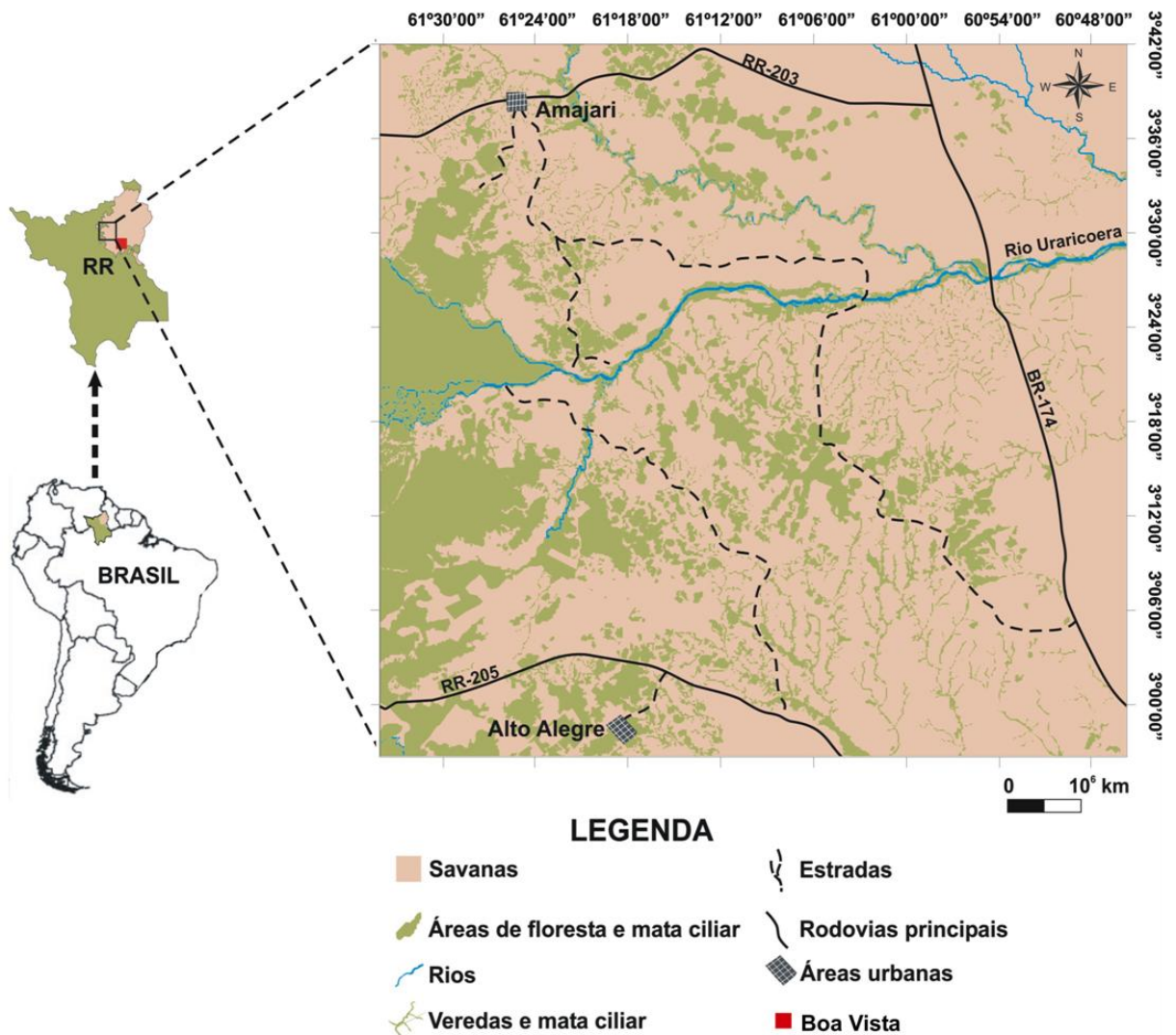


Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo (mapa em detalhe gerado por fotointerpretação a partir de imagem de satélite Landsat TM 5 obtida em 2007).

1.3.2 Aspectos climáticos regionais

O estado de Roraima como um todo é marcado por um zoneamento climático onde aparecem os tipos climáticos Af, Am e Aw conforme a classificação de Köppen que relaciona diretamente os tipos climáticos à vegetação (Fig. 2).

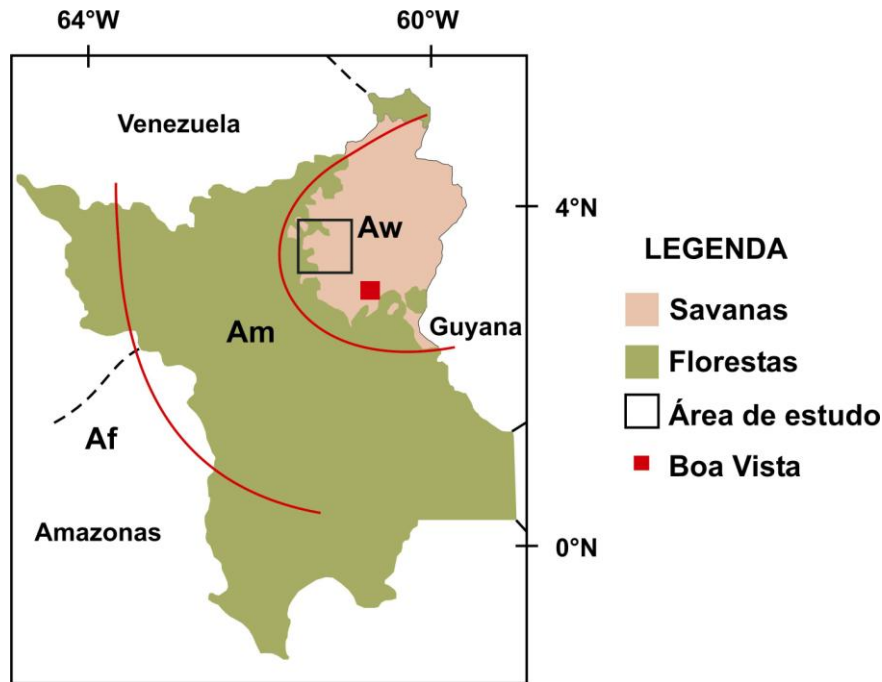


Figura 2 - Distribuição dos tipos climáticos ocorrentes no estado de Roraima segundo a classificação de Köppen (Fonte: Adaptado de Barbosa 1997).

O tipo Af ocorre na porção sul do Estado, onde a cobertura vegetal é dada por florestas densas e úmidas. Nesta região verifica-se elevado índice de precipitação anual (2.000 mm/ano). As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano e não há ocorrência de uma estação seca (Barbosa 1997). Vale ressaltar que essa região é fortemente influenciada pelas massas de ar equatoriais e pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Verifica-se também a influência deste tipo climático nas áreas elevadas do extremo noroeste do estado onde se estima que a precipitação local supere os valores de 2.000 mm/ano.

O clima do tipo Am, segundo Barbosa (1997), se estabelece em um corredor que abrange áreas de savanas, de floresta úmida e das áreas montanhosas do norte de Roraima. Trata-se de um clima quente (temperaturas médias mensais superiores a 18 °C) e úmido, com precipitação abundante durante a maior parte do ano, alcançando cerca de 1.700 a 2.000 mm/ano. O máximo pluviométrico ocorre no trimestre maio – julho concentrando cerca de 40% do total precipitado anualmente. A estação seca dura em média três meses (Barbosa 1997).

O tipo climático Aw, que corresponde ao clima tropical úmido com predomínio de savanas, ocorre na porção nordeste de Roraima, onde está inserida a área deste estudo. Nessa região, o verão chuvoso tem duração de seis meses (abril a setembro), sendo que os meses de junho, julho e agosto são os mais chuvosos congregando cerca de 50% da precipitação anual. O período seco estende-se do mês de outubro ao mês de março e o mês mais seco (janeiro) apresenta precipitação inferior a 60 mm (Fig. 3). A precipitação média anual gira em torno de

1.500 mm e os valores médios de temperatura mensais variam entre 23 e 31 °C, com uma média anual de 27,4 °C (Nimer 1991).

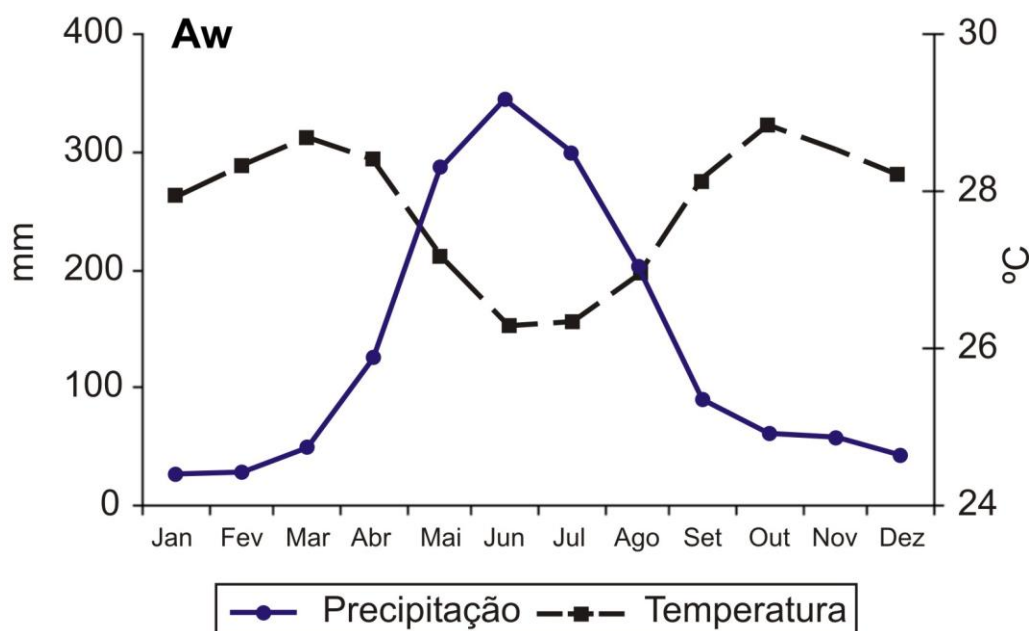


Figura 3 - Distribuição dos valores de precipitação e temperatura ao longo do ano na região de savanas de Roraima (Fonte: Modificado de Barbosa 1997).

1.3.3 Cobertura vegetal

A vegetação do estado de Roraima apresenta-se bastante diversificada, contemplando desde savanas com fisionomias campestres, savanas estépicas e campinaranas até as formações florestais densas ou abertas. Ab'Sáber (1989) traça em seqüência a distribuição da vegetação em Roraima do sul para o norte, e ressalta que a floresta tropical tipicamente amazônica termina na altura do município de Caracaraí, ocorrendo a partir daí uma transição de floresta com palmeiras na direção de Mucajaí, cedendo lugar para os campos e florestas de galeria, buritizais e algumas árvores, finalizando nos vales dos rios Uraricoera, Tacutu e Boca da Mata, onde há um retorno à paisagem de floresta.

A região deste estudo está inserida em uma área de transição entre estas savanas e formações florestais (Vide Figs. 1 e 2). As savanas que localmente são conhecidas como “lavrados” apresentam variações diversas quanto à composição florística, estrutura e fisionomia. Veloso *et al.* (1975), classificaram-nas em diferentes classes: savana arbórea aberta, savana parque, savana estépica arbórea densa ou aberta, savana estépica parque, savana estépica graminosa e savana graminosa, as quais compõem paisagens variadas dentro de uma mesma região.

A savana gramínea que é o tipo predominante na área estudada, caracteriza-se por amplo domínio de gramíneas representadas principalmente pelos gêneros *Andropogon*, *Trachypogon*, e *Aristida*, (Poaceae), *Rhynchospora* e *Bulbostyles* (Cyperaceae). A savana gramínea pode ser subdividida em do tipo campo limpo, quando espécies arbustivas estão ausentes (Fig. 4A) e do tipo campo sujo (Fig. 4B), cujo estrato herbáceo é similar ao campo limpo, porém, intercalado por espécies arbustivas como *Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K. (Malpighiaceae) e *Curatella americana* L. (Dilleniaceae) conhecidas popularmente como caimbé e murici respectivamente.

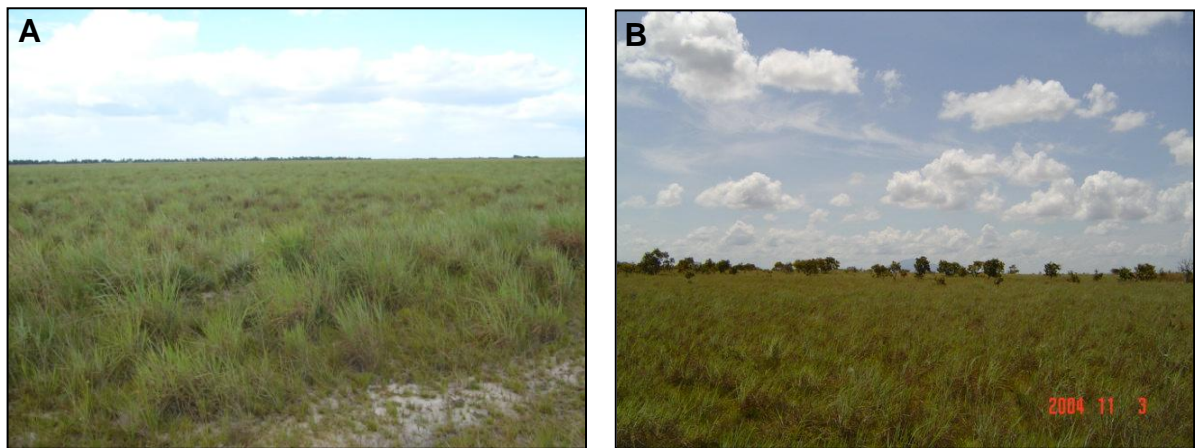


Figura 4 - Savana gramínea tipo campo limpo composta essencialmente por espécies gramíneas (A) e tipo campo sujo onde o estrato gramíneo é intercalado por espécies arbustivas (B).

A savana tipo parque também é observada na região, sendo caracterizada por possuir um estrato gramíneo de composição similar à savana gramínea, porém, com maior número de indivíduos arbustivos de *Curatella americana* e *Byrsonima crassifolia*.

As extensas veredas de buritis (*Mauritia flexuosa* L.) que acompanham os cursos d'água ou colonizam áreas brejosas, estão presentes em toda a extensão das savanas, em qualquer que seja a sua tipologia. (Fig. 5).



Figura 5 - Veredas de buritis serpenteando a paisagem de savanas; ao lado direito, detalhe do interior dessas veredas, evidenciando o seu caráter brejoso.

As formações florestais aparecem permeando as savanas como mata de galeria acompanhando rios como o Uraricoera e Amajari e também igarapés maiores e perenes ou em forma de ilhas (Fig.6). Essas florestas são classificadas como do tipo tropical estacional semidecidual conforme ilustra o IBGE (2005). De acordo com Whitemore & Prance (1987), as florestas semidecíduas são florestas de transição entre florestas tropicais úmidas e savanas.



Figura 6 - Trecho representativo da zona de transição savana-floresta onde ambas as formações se interdigitam.

1.3.4 Contexto geológico

No contexto da região onde está inserida a área estudada, aparecem diversas unidades litológicas, a saber: Suíte Metamórfica Rio Urubu, Suíte Intrusiva Pedra Pintada, Suíte Metamórfica Urariqüera, Grupo Cauarane e Formação Boa Vista, além dos aluviões recentes. Estas unidades compõem o cenário regional, porém, os terrenos da área investigada se estabeleceram especificamente sobre rochas do Grupo Cauarane (Fig. 7).

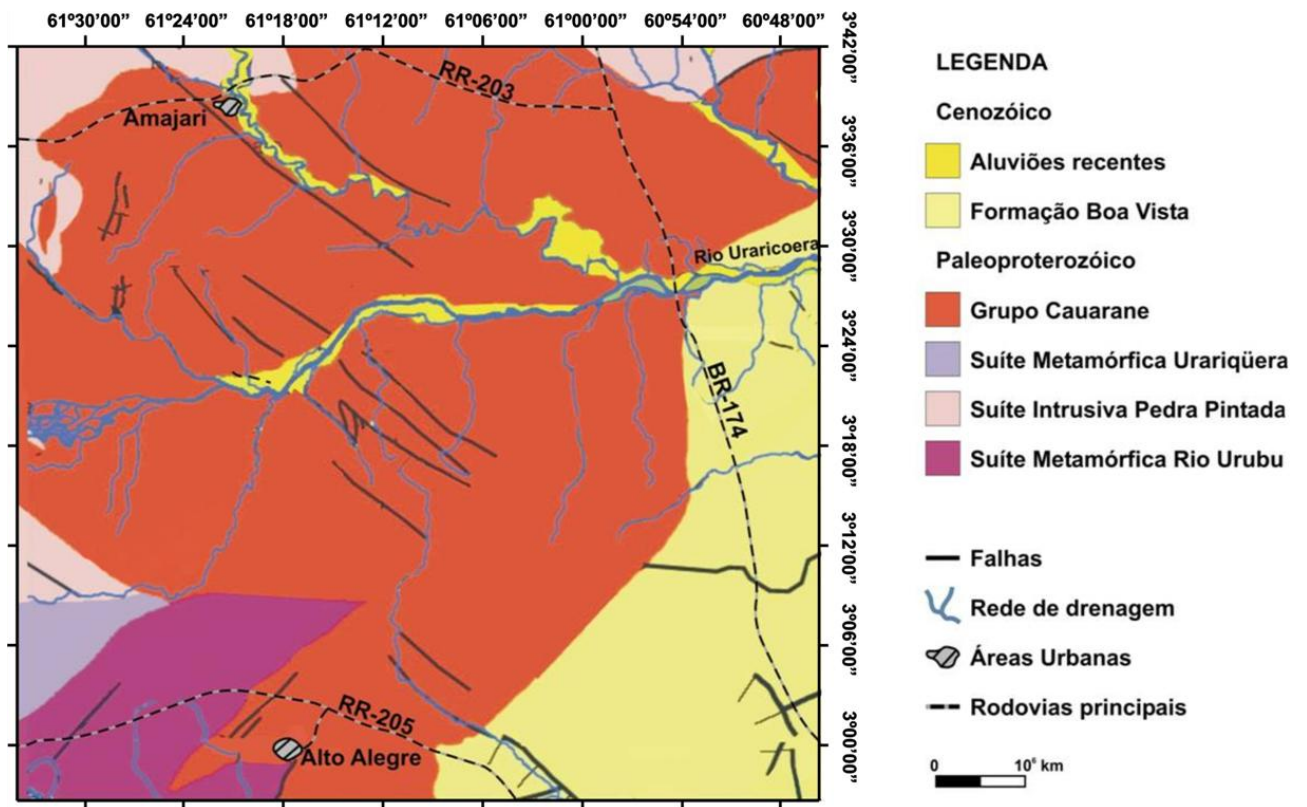


Figura 7 - Mapa geológico representando as principais unidades geológicas encontradas na região de estudo e arredores (Fonte: Modificado de FEMACT 2007).

O Grupo Cauarane, que segundo Gaudette *et al.* (1996) apresenta idade de 2.235 ± 19 Ma, foi denominado por Montalvão & Pitthan (1974), tendo como seção-tipo a serra homônima, localizada ao norte de Boa Vista, nas proximidades da BR-174. Segundo esses autores, sua composição é dada por intercalações de quartzitos, itabiritos, anfibolitos, quartzomica xistos e anfibólio xistos. Entretanto, o mapeamento geológico, efetuado pelo Projeto Roraima Central (CPRM 1999), identificou os seguintes tipos rochosos: (1) xistos básicos, anfibolitos, *metacherts* ferríferos, gonditos e rochas calcissilicáticas, com subordinados paragneisses; (2) paragneisses com subordinadas intercalações de rochas calcissilicáticas, xistos e anfibolitos e (3) gnaisses kinzigíticos.

A Suíte Metamórfica Rio Urubu de acordo com CPRM (1999) engloba os ortognaisses aflorantes na região do mencionado rio, correspondendo a um conjunto de biotita gnaisses e biotita-horblenda gnaisses, incluindo subordinadas leucognaisses com idade de 1966 ± 37 Ma. Na área de interesse deste estudo essa unidade aparece na região do município Alto Alegre.

A Suíte Intrusiva Pedra Pintada (Fraga *et al.* 1996), composta por granitóides aflorantes também aparece na região limitando-se com o Grupo Cauarane ao norte e oeste. Um exemplo típico desses afloramentos ocorre nas proximidades do rio Parimé, onde pinturas rupestres ali preservadas constituem a referência nominal para a unidade representada.

A Suíte Metamórfica Urariqüera aparece na zona noroeste da área de estudo e abarca uma grande variedade de tipos litológicos que variam da fácies xisto verde a granulito: granitóides, quartzo dioritos, dioritos e tonalitos, anfíbolitos como enclaves em gnaisses, paragnaisses (cordierita-sillimanita-muscovita), gnaisses kinzigíticos e migmatitos (FEMACT 2007).

A Formação Boa Vista, assim denominada por Barbosa & Ramos (1959) é constituída por areias, mal selecionadas, com grãos pouco arredondados, argilas arenosas e níveis de cascalhos intercalados. Esta unidade sedimentar recobre discordantemente as rochas polimetamórficas do Complexo Guianense, da Formação Surumu e intrusivas afins da Formação Apoteri e da Formação Tacutu, sendo considerada por Montalvão *et al.* (1975) como de idade pleistocênica por correlação com a Formação Mesa na Venezuela.

Além destas unidades geológicas, observa-se ainda a presença de terraços aluviais sub-recentes e aluviões holocênicos que estão distribuídos ao longo das principais drenagens que seccionam a área, a exemplo daqueles dos rios Uraricoera, Amajari e Branco. Os terraços aluviais apresentam pequena espessura e permanecem temporariamente alagados durante a estação das chuvas.

1.3.5 Geomorfologia e solos

A área deste estudo é parte da unidade geomorfológica denominada Patamar Dissecado de Roraima, (IBGE 2005; FEMACT 2007), caracterizada por um relevo plano a suave ou forte ondulado ou mesmo colinoso, exibindo topos convexos, por vezes, formatado em anfiteatros concavos-convexos de fundos chatos, esculpidos em rochas metamórficas do Grupo Cauarane. Apresenta vertentes de declividade mediana, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem. Na parte meridional dessa unidade (região do município de Alto Alegre), aparecem freqüentemente vales rasos e vertentes de baixa a média declividade como resultado do estabelecimento de processos de dissecação que atuam sobre

uma superfície de aplainamento. Com cotas altimétricas variando entre 100 e 200 m, essa região representa uma zona intermediária entre as planícies baixas da Depressão de Boa Vista (70-120 m acima do nível do mar) situada à leste e as áreas montanhosas (> 200 m acima do nível do mar) situadas à oeste e norte.

De acordo com a CPRM (2003), a cobertura pedológica da região é constituída principalmente por latossolos e também argissolos. O Latossolo Amarelo distrófico, de textura média a argilosa, é a classe predominante. Os latossolos amarelos são solos profundos, de baixa fertilidade natural, acidez com saturação por alumínio elevada, baixos teores de óxidos de ferro. São friáveis, com seqüência de horizontes A, Bw, C, com cores brunadas, bruno-amareladas e amarelas nos matizes maiores que 5 R e com transição geralmente difusa entre os horizontes. Ocorrem sobre relevo que varia de plano a suave ondulado sob vegetação de savana ou floresta densa e aberta.

Em alguns locais aparecem pequenos trechos de Latossolo Vermelho distrófico e/ou eutrófico sobre relevo plano a suave ondulado e vegetação de savana. Os latossolos vermelhos, assim como os latossolos amarelos, são solos bem desenvolvidos, profundos a muito profundos, bem drenados, com horizonte B latossólico. Possuem seqüência de horizontes A, Bw e C, com pequena diferenciação. Apresentam saturação com alumínio inferior a 50%. O horizonte A possui espessura variável, as cores predominantes são bruno avermelhado escuro (2.5 R 3/4) e bruno-avermelhado (2.5 R 4/4). O horizonte B tem espessura dominante superior a 100 cm, as cores mais comuns são vermelho-escuro (2.5 R 3/6) e vermelho (2.5 R 4/6), as texturas são das classes franco-argilo-arenosa e argila, a estrutura mais comum é fraca muito pequena granular.

Além dos latossolos ocorre também a classe Argissolo Vermelho-Amarelo com textura média a argilosa, sobre relevo ondulado com vegetação de floresta. Os argissolos são solos bem desenvolvidos, não hidromórficos, profundos, bem drenados, com argila de atividade baixa. Apresentam horizonte B textural resultante da acumulação de argila devido ao processo de iluviação e seqüência de horizontes A, Bt e C. A espessura média do horizonte A é de 30 cm, as cores são bruno-avermelhado (5 R 5/3) e bruno (7.5 R 5/4), a textura mais comum é a arenosa, com fraca estrutura. O horizonte B apresenta em média 120 cm de espessura, com coloração vermelho-amarelada (5 R 5/6 e 5/8), a textura dominante é da classe argila arenosa e argila, a estrutura é moderada, média e em bloco subangular (CPRM 2003).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A DINÂMICA DAS FLORESTAS E SAVANAS AMAZÔNICAS DURANTE O PLEISTOCENO E HOLOCENO

A extensa região amazônica, pelo fato de compreender a maior e mais biodiversa cobertura florestal, drenada ainda pela maior e mais densa bacia hidrográfica do mundo, tem recebido amplo destaque nas sucessivas discussões que se promovem em torno das mudanças climáticas globais e do papel que esta região pode desempenhar no contexto destas mudanças. Ao longo das últimas décadas, a grandiosidade desse cenário de florestas e rios tem despertado múltiplos interesses nessa região, que abrangem desde aspectos ligados à conservação e preservação da biodiversidade, e dos recursos hídricos, até aqueles relacionados à busca pelo entendimento sobre quais fatores contribuíram para a formação e dinâmica dessa paisagem ao longo do tempo geológico. No que diz respeito a essa última questão, vários estudos foram realizados no decorrer especialmente das duas últimas décadas.

Estes estudos de cunho geológico, geomorfológico, biogeográfico e palinológico, têm permitido o reconhecimento de paleoambientes amazônicos e resgatado dados importantes para o entendimento de sua história paleoclimática. A partir desses dados, a história paleoambiental e paleoclimática da região amazônica tem sido retratada sob versões diferenciadas, em que dois cenários alternativos e a princípio excludentes representariam a evolução da cobertura vegetal das planícies amazônicas durante o Quaternário Tardio. A mais amplamente divulgada e apoiada entre a comunidade científica é a hipótese dos refúgios que teve suas bases lançadas a partir de estudos ornitológicos de Haffer (1969), herpetológicos de Vanzolini & Williams (1970) e fitogeográficos de Prance (1973), e que posteriormente foram sintetizadas através dos estudos paleoclimáticos realizados por Ab'Saber (1977), Absy *et al.* (1991), Behling & Hooghiemstra (2001) entre outros.

Os estudos de Haffer (1969) lhe permitiram reconhecer centros de dispersão de espécies, assumidos como refúgios, onde a floresta tropical sobrevivera a condições climáticas secas. Dessa forma, o autor tenta explicar a diversificação nos trópicos a partir de ciclos climáticos secos relacionados às glaciações quaternárias que teriam ocasionado a fragmentação de florestas úmidas e sua substituição parcial por vegetação aberta tipo savanas. Assim, durante os períodos glaciais pleistocenos as florestas das planícies amazônicas teriam sido reduzidas a refúgios ecológicos ou ilhas de umidade (Ab'Saber 1977). Esses fragmentos de florestas em uma matriz de savanas ocupando largas porções da Amazônia, teria permitido assim, o desenvolvimento da enorme biodiversidade da região através da criação de áreas de

contato e hibridização de espécies diferenciadas nos refúgios durante as fases interglaciais mais úmidas (Van der Hammen 1991).

As manchas de savanas tal como atualmente se observa em várias partes da Amazônia representariam então, relíquias desse momento da evolução da paisagem amazônica. O surgimento das savanas teria sido proporcionado por uma redução na taxa de precipitação durante o Último Máximo Glacial (UMG), que segundo Van der Hammen & Hooghiemstra (2000), pode ter sido da ordem de 30-50%, levando a uma substancial retração das florestas úmidas e à formação de refúgios florestais úmidos separados por tipos mais secos de vegetação ao longo da região amazônica (Van der Hammen & Absy 1994). Anhuf *et al.* (2006), sugerem que a floresta tropical tipicamente úmida foi reduzida a 54% de sua atual extensão na região amazônica. Os remanescentes 46% provavelmente foram compostos por mosaicos de transições contendo vegetação aberta. Algo semelhante teria ocorrido também nas florestas tropicais do continente africano, onde condições climáticas mais severamente secas levaram à redução das florestas tropicais úmidas em cerca de até 84% de sua atual extensão. No âmbito dessa discussão, Haffer & Prance (2002) alertam que um dos erros mais comuns consiste em se supor que as regiões de entorno dos postulados refúgios florestais úmidos eram cobertas apenas por savanas herbáceas. Na realidade, especula-se que provavelmente havia florestas menores ao longo dos principais rios da Amazônia, nos declives de montanhas isoladas e nas extensas terras baixas entre o curso superior do rio Madeira e Marañón. Da mesma forma, afirma Prance (1981) que entre as áreas isoladas úmidas (refúgios), deve ter existido um mosaico complexo de diferentes tipos de vegetação tais como florestas secas, florestas de lianas e bambuzais típicos de climas sazonalmente secos que teriam funcionado como uma efetiva barreira para a dispersão da maioria das plantas e animais da floresta tropical úmida.

Visando-se elucidar o quadro de evolução da floresta tropical amazônica e principalmente seu enriquecimento ecológico, outras explicações foram dadas por Hoorn (1993), Hoorn *et al.* (1995) e Rasanen *et al.* (1995). Para estes autores eventos de incursões e regressões marinhas na bacia Amazônica durante o Médio Mioceno (16 -10 Ma), levaram à instalação de vegetação tipo manguezais nas áreas ocupadas pela atual floresta durante as subidas do nível do mar. Durante os períodos de regressões, a dominância de ambientes estuarinos-lacustrinos proporcionou o desenvolvimento de vegetação típica de áreas brejosas e florestas sazonalmente inundadas. Essas alternâncias temporais e espaciais de condições de águas salinas e doces estimularam possivelmente evolução florística e biodiversidade em algumas áreas geográficas da Amazônia e extinção em outras conforme concluem

Hooghiemstra & Van der Hammen (1998). Para esses autores, uma possível proximidade entre formações florestais de terras baixas e de áreas montanhosas, ocorrida possivelmente em algum momento do tempo geológico, pode ter contribuído para a evolução da biodiversidade tropical, a partir de eventuais trocas de elementos florísticos entre ambas as formações e sua subsequente adaptação ecológica.

Hooghiemstra & Van der Hammen (1998) acreditam que a diversidade de plantas encontradas na Amazônia durante o Mioceno pode ter sido consideravelmente mais elevada que atualmente, e que muitas espécies podem ter se extinguido a partir desse período. Essa afirmação é baseada nos trabalhos de Hoorn (1994), que estudando sedimentos de um vale fluvial de idade miocênica encontrou 280 tipos polínicos nesses sedimentos e de Urrego-Giraldo (1994), que mencionou apenas 140 tipos em sedimentos holocênicos ambos para regiões geograficamente comparáveis entre si. Neste sentido, Van der Hammen & Absy (1994), expõem que a assembléia polínica encontrada na região amazônica datada do Mioceno foi duas vezes superior àquela correspondente ao período do Holoceno. Assim, segundo esses autores, a biodiversidade atual é uma herança do período Terciário, tendo a especiação se dado a partir dos refúgios úmidos, dos quais o mais representativo teria ocupado a Amazônia ocidental, onde a redução da precipitação não foi suficiente para ocasionar a extinção desses refúgios.

Para tempos pleistocenos, a fragmentação da cobertura florestal foi confirmada em alguns locais da região amazônica. Estudos geológicos e palinológicos realizados na região da Serra dos Carajás (sul do estado do Pará) revelaram quatro períodos de aberturas da floresta, ao longo do período Glacial Tardio, de transição Pleistoceno/Holoceno e Holoceno Médio, inferidos pelo aumento de ervas de Poaceae, Asteraceae, *Borreria* e *Cuphea* típicas de ambientes savânicos (Absy *et al.* 1991; Sifeddine *et al.* 1994). Para esses autores, essas épocas estiveram sob influência de um paleoclima mais seco que o atual.

Alguns autores, porém, têm questionado a validade do modelo de refúgios (Colinvaux *et al.* 1996; Haberle & Maslin 1999; Colinvaux & De Oliveira 2001). Para eles a estabilidade e continuidade da cobertura florestal sobre a vasta planície amazônica ao longo do Cenozóico é a razão pela qual se explicaria a alta diversidade de espécies vegetais observadas na região.

Estudos realizados em lagos situados na Amazônia ocidental levaram Bush *et al.* (1990) e Colinvaux *et al.* (1996), a argumentarem contra a existência de ciclos climáticos secos que pudessem ter gerado qualquer descontinuidade ou fragmentação da floresta tropical úmida, durante o UMG. Eles concluem ainda que os endemismos regionais e a alta biodiversidade podem ser explicados pela Teoria Fluvial que se baseia em barreiras

hidrológicas, ou seja, extensos depósitos aluviais e coluviais que isolaram espécies permitindo a diferenciação de espécies em grandes redes de drenagem da bacia amazônica.

Colinvaux *et al.* (2000), fazem uma sucinta revisão acerca das diversas evidências biogeográficas, geológicas e geomorfológicas tomadas como base por diversos autores para inferências sobre a ocorrência de uma possível fase seca durante o UMG na Amazônia. Todas essas evidências são veementemente refutadas pelos referidos autores, quando asseguram que campos de paleodunas, areias brancas, areias arcoseanas e linhas de pedras (stone lines), possuem origens diversas e desvinculadas de processos climáticos e, portanto, são insuficientes para basear essa suposição. Dessa forma, voltam a concluir que a região em nenhum momento do Pleistoceno foi palco de condições secas, nem tampouco sua cobertura florestal sofreu qualquer tipo de fragmentação ou descontinuidade como atesta a teoria dos refúgios. Ao invés disso, a intacta floresta das épocas glaciais incluiu significantes populações de plantas, que atualmente ocupam montanhas sugerindo que o aquecimento global do início do Holoceno resultou na expulsão de plantas intolerantes a temperaturas mais elevadas da planície florestada.

Conclusões semelhantes foram apresentadas por Bush *et al.* (2004) obtidas através de dados palinológicos, sedimentológicos e geoquímicos realizados no lago da Pata, e em mais dois lagos situados na região do Morro de Seis Lagos, porção noroeste do estado do Amazonas. A comparação dos resultados palinológicos desses três lagos (da Pata, Verde e Dragão) indicou presença continuada de floresta ao longo do UMG. E apesar das oscilações identificadas no nível dos lagos atribuídas à redução da precipitação, os autores garantem que essas ligeiras mudanças não foram suficientes para afetar a densa floresta tropical causando sua fragmentação. Durante o Pleistoceno Tardio essa floresta teria mudado sua composição com a expansão ou invasão de elementos de montanhas o que está de acordo com um esfriamento da ordem de 5-6 °C na média anual nas planícies tropicais durante as épocas glaciais do Pleistoceno sugerido por vários autores (Bush *et al.* 1990; Stute *et al.* 1995; Behling & Lichte 1997). Esse esfriamento concomitante com o alto índice de umidade não teria permitido a fragmentação das florestas contrariando assim as previsões da teoria dos refúgios pleistocênicos (Colinvaux *et al.* 1996, 2000; Colinvaux & De Oliveira 2001).

A despeito de toda essa controvérsia, alguns autores como Van der Hammen & Absy (1994) e Hooghiemstra & Van der Hammen (1998), admitiram que as duas situações podem ter ocorrido na região simultaneamente. Assim, uma cobertura contínua de florestas, expansão de savanas e ainda um resfriamento ocorreram. As teorias mencionadas não seriam de todo excludentes, mas, teriam refletido dois cenários extremos sobre condições secas e úmidas. A

explicação seria que a região amazônica permaneceu úmida em sua porção ocidental enquanto que sua porção leste teve decréscimo de precipitação, como evidenciado pelos registros de Carajás (Absy *et al.* 1991) e do lago Maicuru (De Oliveira & Curtis 2001). Durante o UMG a queda de 5 a 6 °C na temperatura média anual teria modificado o funcionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o que diminuiu fortemente a precipitação na região leste da bacia.

Durante o Holoceno (10.000 anos AP) a vegetação de floresta e o clima da Amazônia se mantiveram estáveis na região do lago da Pata (Colinvaux *et al.* 1996) situado no extremo noroeste da Amazônia, assim como também na serra do Maicuru, situada no estado do Pará (De Oliveira & Curtis, 2001) ambos em atual domínio de florestas. Ainda neste sentido, Irion *et al.* (2006), constataram através do estudo de sedimentos do “lago Tapajós” que corresponde ao baixo curso do rio homônimo, formado há cerca de 11.000 anos AP, que desde esse período até o presente, a floresta tropical foi dominante na região. Atribuem o aumento de Poaceae nos diagramas polínicos entre 5.500 e 4.200 anos AP à atividade humana que teria contribuído para a formação de campos em alguns locais. Entretanto, afirmam que, transformações maiores na paisagem não podem ser diagnosticadas e os constantes dados geoquímicos e mineralógicos aliados aos dados de baixos valores isotópicos ¹³C apóiam a persistência da floresta entorno do lago.

Por outro lado, em Carajás, Absy *et al.* (1991) verificaram uma retração na cobertura florestal e conseqüente expansão de savanas herbáceas ao longo do Holoceno Médio (entre 7.000 e 4.000 anos AP) entendida como conseqüência da atuação de um clima mais seco que favorecera uma maior freqüência de paleofogos (Siffedine *et al.* 1994). Estudos na região de Humaitá (AM) e Porto Velho (RO) constataram que esta região atualmente coberta por savanas tem sofrido mudanças relacionadas à expansão e recuo de florestas e savanas ao longo do Pleistoceno Tardio e Holoceno (Freitas *et al.* 2001; Van der Hammen & Absy 1994).

Assim, da mesma forma que com relação ao UMG no Pleistoceno Tardio, os dados palinológicos fornecem dois padrões distintos da vegetação holocênica na Amazônia. O primeiro refere-se à existência de florestas tropicais semelhantes às atuais, sem nenhum indicio de aberturas do dossel causadas por modificações climáticas ou antropogênicas. Esse padrão é observado no morro de Seis Lagos porção noroeste do Amazonas (Bush *et al.* 2004), no leque aluvial do rio Amazonas (Haberle & Maslin 1999) e também no lago Calado, situado na região central da Amazônia (Behling *et al.* 2001). O segundo padrão refere-se à vegetação impactada pela ocorrência de incêndios e a conseqüente instalação do processo de sucessão

vegetacional com estágios seriais dominados por vegetação aberta, como observado nas regiões limítrofes da floresta amazônica (Absy *et al.* 1991).

Em outras áreas da América do Sul setentrional, como por exemplo, nas savanas dos Llanos Orientales na Colômbia, vários estudos mostraram sucessivas expansões e retrações das florestas e savanas em consequência das alterações climáticas ao longo do Pleistoceno Tardio e principalmente Holoceno.

Os registros palinológicos obtidos a partir de sedimentos da Laguna El Pinal, situada nessa região, mostram que durante o UMG a área foi caracterizada por vegetação de savanas graminóides com poucos gêneros arbóreos, tais como *Curatella* e *Byrsonima*. A ocorrência de mata de galeria ao longo dos rios foi pouco pronunciada e a atuação do fogo foi freqüente. A Laguna El Pinal foi um lago raso e efêmero refletindo condições climáticas marcadas por baixas taxas de precipitação e estações secas prolongadas. Essas condições teriam dominado a região desde os últimos 18.000 até aproximadamente por volta de 10.690 anos AP (Behling & Hooghiemstra 2001; Berrio *et al.* 2002).

A Laguna El Pinal tornou-se um lago permanente por volta de 10.690 anos AP, quando também em outros locais dos Llanos Orientales, diversos lagos a exemplo da Laguna Angel (10.030 anos AP), Laguna Sardinas (11.570 anos AP), e mais tardiamente a Laguna Carimagua (8.270 anos AP) se desenvolveram, indicando uma mudança para condições climáticas mais úmidas, evidenciadas também pelo aumento de floresta de galeria notado para este período (Behling & Hooghiemstra 1998; 2001). Entretanto, Berrio *et al.* (2002), comparando dados palinológicos dos lagos mencionados acima com aqueles obtidos nas Lagunas Chenevo e Mozambique (situadas também na área dos Llanos Orientales da Colômbia) fazem menção de um período entre 9.700 a 5.800 anos AP, em que as gramíneas foram abundantes sugerindo condições mais secas que na transição Pleistoceno/Holoceno. Os estudos de Behling & Hooghiemstra (2000) na Laguna Loma Linda, localizada na zona de transição savanas/floresta nos Llanos Orientales colombianos, corroboram esse quadro mostrando paisagem semelhante para o período compreendido entre 8.700 a 6.000 anos AP.

A partir do Holoceno Médio, Behling & Hooghiemstra (1998 e 2001) e Berrio *et al.* (2002), são unânimes em afirmar que houve um aumento de umidade em toda essa região evidenciado pelo aumento das áreas florestadas na área da Laguna Sardinas (6.390 anos AP), Laguna Loma Linda (6.000 anos AP), Laguna Carimagua (5.570 anos AP) e Laguna Angel (5.260 anos AP), que refletem mais possivelmente uma mudança para condições climáticas ainda mais úmidas.

No Brasil os registros obtidos na região de cerrados (entendidos como um componente das savanas) mostram aumento de umidade a partir de 7.000 anos AP em Águas Emendadas (DF) (Salgado-Labouriau *et al.* 1998; Barberi *et al.* 2000) que proporcionou a instalação de veredas de *Mauritia flexuosa*, retorno de mata ciliar e elementos de cerrado arbóreo nesse local, e também em Cromínia (GO) (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau 1996; Salgado-Labouriau *et al.* 1997).

Na região dos Llanos Orientales colombianos, o aumento de palmeiras tais como *Mauritiella*, *Mauritia* e *Euterpe* ocorre por volta de 4.000 anos AP, quando o ecossistema de savana se modifica devido também a um incremento de florestas na maioria dos registros obtidos na região. De acordo com Behling & Hooghiemstra (1998, 1999 e 2000) isto pode indicar impactos antrópicos na vegetação sob as condições climáticas mais úmidas do Holoceno, assim como em outras áreas da América do Sul tropical.

2.2 AS VEREDAS: ASPECTOS GENÉTICOS E AMBIENTAIS

As veredas podem ser conceituadas tanto do ponto de vista geomorfológico, quanto do fitogeográfico. No primeiro caso, apresentam-se como depressões abertas, rasas e alongadas, com vertentes côncavas suaves e fundos planos, preenchidos por sedimentos argilosos, freqüentemente com elevada concentração de restos vegetais em decomposição (Boaventura, 1978). Por outro lado, do ponto de vista fitogeográfico podem ser definidas como comunidades vegetais que ocorrem nas regiões de vegetação aberta tipo savanas. São caracterizadas principalmente, pela presença imponente da palmeira de buriti (*Mauritia flexuosa*) da família Arecaceae que ocorre, em geral, nas partes mais úmidas das referidas depressões. Além do buriti, que alcança em torno de 10 a 15 m de altura, podem ocorrer também estratos compostos por vegetação herbácea, representada principalmente por espécies das famílias Cyperaceae, e Poaceae e também estratos arbustivos ou subarbustivos de Melastomataceae e Rubiaceae conforme aponta Carvalho (1991).

As veredas estão presentes em todas as áreas de cobertura savânica da América do Sul. Conhecidas como *morichales* na Colômbia e Venezuela, e *aguajales* no Peru, constituem-se como componentes indissociáveis deste bioma (Rull 1998). No Brasil, as veredas destacam-se na região central, ao longo dos domínios de cerrados (denominação regional para savanas) compreendendo áreas dos estados de Minas Gerais e Goiás (Carvalho 1991; Lima 1996; Lima & Queiróz Neto 1996) e são abundantes também nas savanas amazônicas, com destaque para a região nordeste do estado de Roraima. Nessa região, as veredas funcionam como elo de ligação entre as inúmeras bacias lacustres presentes na paisagem e os igarapés e rios da bacia

do rio Branco. Indivíduos de *Mauritia flexuosa* também aparecem com frequência circundando esses lagos.

As condições de formação das veredas podem envolver aspectos geológicos, geoquímicos, geomorfológicos e climáticos. Segundo Boaventura (1978) as veredas são formadas a partir do contato de duas camadas estratigráficas de permeabilidades diferentes. Deste modo, em locais onde a ação erosiva intercepta o contato de uma camada permeável superposta a uma camada impermeável, ocorre o extravasamento de um lençol freático, originando, assim, uma nascente do tipo vereda. O autor considera ainda que, além disto, outros fatores de ordem geomorfológica como a existência de superfícies de aplainamento, tipo chapadões, litologia friável, nível de base local em processo de retrabalhamento e exorreísmo podem também contribuir para a formação de uma vereda.

Especificamente para as veredas das chapadas da região central do Brasil, o referido autor descreve o processo geral da formação desses ambientes como sendo o produto da interligação de depressões circulares situadas em áreas de má drenagem da superfície pleistocênica (chapadões). Essas interligações geradas sazonalmente através do escoamento superficial, ocasionado pelas precipitações e conseqüente extravasamento do lençol freático subsuperficial, passam a funcionar como canais de drenagem do sistema hídrico da região. A umidade aflorante nesse ambiente proporciona então, as condições para o desenvolvimento de vegetação típica do ambiente de vereda.

Lima & Queiroz Neto (1996), acreditam que o surgimento das veredas e sua posterior evolução representam um estágio de evolução da paisagem e do relevo de determinada região. Esse processo se iniciaria no topo de platôs, começando a partir da instalação de canais de drenagem em locais de acumulação preferencial de umidade, em zonas de fraqueza ou fraturas de rochas ou ainda em zonas de falhas. Segundo estes autores, as perdas geoquímicas ao longo das zonas de fraqueza e fraturas das rochas, decorrentes do intemperismo, e a intensificação do processo de pedogênese, relacionada ao aumento das transformações do solo ao longo do vale, deformam a cobertura pedológica seguindo o abatimento da topografia.

Nesse sentido, o início da incisão do vale seria de natureza geoquímica e não fluvial. A erosão só começaria quando as vertentes e os principais canais atingissem uma declividade crítica. A partir deste ponto, a evolução se tornaria mais complexa com o aumento dos processos pedomorfológicos incluindo erosão das vertentes, eluviação e perdas geoquímicas, causando assim o aprofundamento dos canais. Quando a vereda desaparece, surge em seu lugar a floresta ciliar. Nesse sentido, em fases mais evoluídas, podem ser encontradas na vereda, junto aos buritis, ilhas de vegetação lenhosa. Em outras palavras, quando os vales

tornam-se mais encaixados e o lençol freático é rebaixado, as veredas então, dão lugar às matas ciliares (Melo 1992).

De acordo com Carvalho (1991), durante o processo de evolução das veredas podem ser reconhecidas quatro fases: na primeira distingue-se um estrato herbáceo denso entremeado com a palmeira buriti; na segunda surgem os primeiros arbustos e subarbustos; na terceira ocorre um estrato arbóreo evoluindo para o início de uma estrutura florestal e finalmente na quarta fase, define-se uma floresta de galeria relativamente densa com a presença de buritis em fase senil.

A estes fatores de naturezas geomorfológicas e litológicas responsáveis pela formação e evolução das veredas, pode-se acrescentar o fator de ordem climática, que para González (1987), é preponderante sobre os demais. Para ele, a dominância de um clima tropical quente e úmido com mais de 1.000 mm anuais de precipitação e a presença de solos permanentemente inundados são fatores essenciais para o desenvolvimento das veredas.

A importância do fator climático na origem e evolução das veredas foi demonstrada nos trabalhos de Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau (1996) e Barberi *et al.* (2000) que através de estudos realizados nas veredas da região de cerrados no Brasil Central, concluíram que as variações climáticas dos últimos 32.000 anos AP propiciaram alternâncias nos ambientes e conseqüentemente no processo de instalação e evolução das veredas.

Estudos palinológicos realizados em uma vereda situada em áreas de terra baixa, na região de Cromínia, no estado de Goiás, Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau (1996) mostraram que entre 32.000 e 23.390 anos AP o clima era úmido, com presença de ambiente de veredas. Entre 23.390 e 6.500 anos AP, houve períodos de variação climática, intercalando fases secas e úmidas, afetando sensivelmente o ambiente de veredas e a presença de *Mauritia flexuosa*. Por volta dos 6.500 anos AP, a *Mauritia* reaparece, indicando uma retomada de clima úmido, restabelecendo o ambiente de veredas, com aumento gradativo da presença de buritizais.

Estes resultados são correlatos com aqueles encontrados em Águas Emendadas (DF) onde uma vereda também foi estudada (Salgado-Labouriau *et al.* 1998; Barberi *et al.* 2000). A abundância de grãos de pólen de *Mauritia flexuosa* presentes nos sedimentos a partir de 7.000 anos AP sugere aumento na umidade e o início da vereda a partir de 5.600 anos AP. Desde então, os tipos de vegetação que recobriram o topo do platô de Águas Emendadas são os mesmos do presente, com presença de cerrados, floresta de galeria e veredas. Diante de tais informações, pode-se inferir que as veredas atuais remontam a esse último período úmido, portanto, são jovens e ainda em estágios evolutivos. Entretanto, Rull (1998), supõe que o

gênero *Mauritia*, principal componente das veredas, caracterize-se como um velho elemento da flora neotropical, originário possivelmente do Paleoceno (65 Ma). Para o autor, a consistência do habitat registrada através do tempo pelo *Mauritia* sugere que sua presença constitui-se em um importante indicador de condições ambientais pretéritas nas planícies neotropicais, da mesma forma que a ocorrência de elementos como, por exemplo, *Alnus* ou *Quercus* tem sido usada inversamente, como indicação de presença de altas elevações (Van der Hammen 1982). A presença de grãos de pólen de *Mauritia* pode ser considerada um indicador confiável de áreas inundadas e também ao longo das zonas costeiras (combinadas com tipos polínicos das espécies de manguezais, como por exemplo, a *Rhizophora*) ou ao longo de rios e pequenos cursos d'água (ocorrendo associada a grãos de pólen de Poaceae e de árvores de terra firme).

A atual distribuição geográfica das veredas que ocorrem em ambos os hemisférios norte e sul, segundo Rull (1998) preferencialmente até as faixas latitudinais de 10° e as necessidades climáticas requeridas para seu estabelecimento, têm levado alguns pesquisadores a acreditarem que a bacia amazônica seria o centro da diferenciação genética da *Mauritia flexuosa* e de sua dispersão em direção as áreas periféricas das planícies amazônicas. Van der Hammen (1957), propôs a região de Roraima como o centro de origem de várias palmeiras, inclusive do gênero *Mauritia*.

No Brasil, a maior parte dos estudos realizados em ambientes de veredas concentra-se em sua porção central, nos estados de Minas Gerais (Boaventura 1978; Ramos 2000; Araújo *et al.* 2002; Oliveira 2005) e Goiás (Ferreira 2003) nos domínios de cerrados, onde ocorrem amplamente. Estes estudos, em sua grande maioria inserem-se no campo da botânica e se preocupam, sobretudo, com a composição florística, estrutura fitossociológica e estado nutricional da vegetação (Boaventura 1978; Carvalho 1991; Araújo *et al.* 2002), em alguns poucos casos, com a dinâmica geomorfológica (Lima 1996; Lima & Queiroz Neto 1996) e solos (Guimarães 2001). Ultimamente, com o advento dos estudos voltados para a investigação paleoclimática e paleoambiental, as veredas têm desempenhado novo papel, o de fonte de informações a respeito das mudanças climáticas ocorridas nos últimos milênios; uma vez que, esses ambientes se comportam como áreas de acumulação de sedimentos turfosos que registram as variações do ambiente ao longo do tempo geológico através da preservação de palinomorfos, proporcionada pelas condições anaeróbias e ácidas, consideradas ideais para a preservação dos mesmos.

As veredas desempenham ainda um importante papel para o ecossistema savânico, uma vez que, segundo Lima (1996), funcionam como filtros, regulando o fluxo de água,

sedimentos e nutrientes, entre outros terrenos mais altos da bacia hidrológica e o ecossistema aquático. Além disto, protegem nascentes e fornecem água, alimento e abrigo para a fauna silvestre contribuindo assim para o equilíbrio geocológico do bioma savanas. Apesar da importância desses ecossistemas para as regiões de savanas, observa-se no estado de Roraima, em especial, nos domínios da capital Boa Vista, a degradação contínua de veredas através da atividade agropecuária, construção de estradas e canais de drenagem, e principalmente do avanço da urbanização que se arremete sobre estas indiscriminadamente, ocasionando assoreamentos, ressecamento dos solos, diminuição do volume hídrico, erosão e perda irreparável de sua beleza e biodiversidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 AMOSTRAGEM

Os trabalhos de campo foram realizados no mês de dezembro de 2007 e julho de 2008 que correspondem respectivamente ao ápice dos períodos seco e chuvoso na região. No decorrer destes trabalhos efetuou-se a amostragem dos materiais regolíticos (solos, sedimentos, saprólitos, linhas de pedras etc.) em locais selecionados de acordo com a distribuição da cobertura vegetal e aspectos geomorfológicos e pedológicos (Fig. 8).

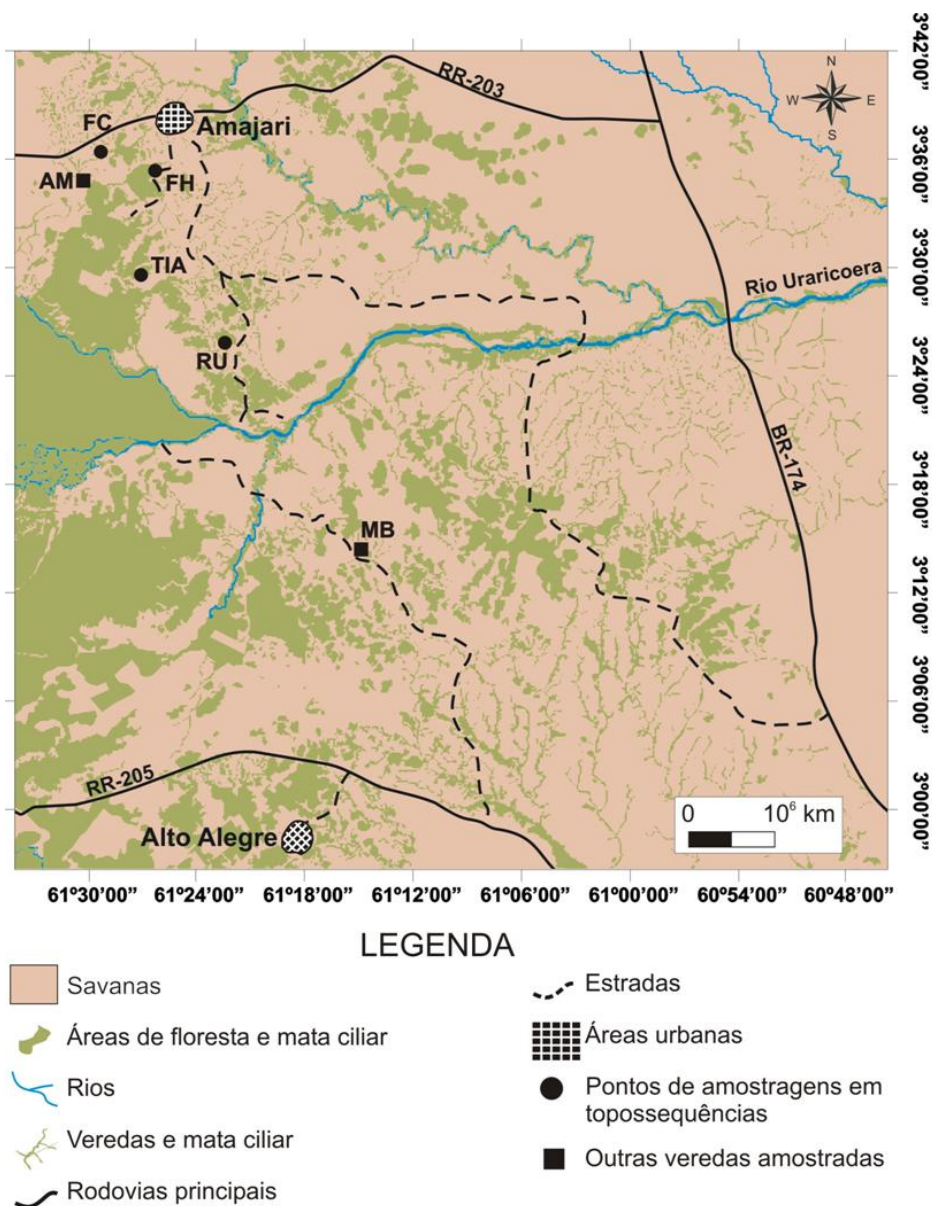


Figura 8 - Mapa destacando os locais de amostragem de solos e sedimentos em topossequências: FC – Fazenda Cigana; FH – Fazenda Humaitá; TIA – Terra Indígena Aningal; RU – próximo ao rio Uraricoera; e de sedimentos em mais duas veredas: AM – Amajari e MB – Maloca do Boqueirão.

A amostragem destes regolitos foi feita de modo seqüencial, ao longo de vertentes denominadas aqui de topossequências começando-se pela base com a coleta de sedimentos dentro de vales ocupados por veredas, seguindo-se até às altas encostas e topos com a coleta de solos e outros materiais ao longo das baixas, médias e altas encostas de acordo com a variação horizontal (cores, texturas, etc.) das coberturas superficiais. Assim, quatro topossequências, foram amostradas (FC, FH, TIA e RU), com o propósito de caracterizar os solos, seus horizontes e as possíveis relações existentes entre eles ao longo das encostas, e entre eles e os sedimentos das veredas. Além das coletas seqüenciais ao longo dessas quatro topossequências, coletas de sedimentos foram realizadas adicionalmente em outras duas veredas (AM e MB).

3.1.1 Coleta dos solos

As tradagens para coleta de solos foram executadas com trado manual tipo holandês atingindo-se profundidades variáveis, de no máximo 100 cm, tendo estas amostras sido coletadas em intervalos fixos de 20 cm. Além das tradagens, a coleta deu-se também em perfis de solos expostos em cortes de estradas e em trincheiras abertas para este fim. As profundidades dos horizontes, espessuras, cores, aspectos texturais e tipos de cobertura vegetal foram descritos em todos os perfis coletados conforme pressupostos de Lemos & Santos (1996). Essas amostras foram submetidas às análises granulométricas, mineralógicas e químicas.

3.1.2 Coleta de sedimentos

Os sedimentos foram coletados em veredas utilizando-se um trado russo (Fig. 9). Os testemunhos de sedimentos foram acondicionados em tubos (50 cm) e filmes de PVC e mantidos em uma temperatura de aproximadamente 4 °C e protegidos da luz. Além das análises (granulométricas, mineralógicas e químicas) mencionadas para as amostras de solos, estas amostras de sedimentos foram submetidas também a análises palinológicas e radiocarbônicas.



Figura 9 - Trado russo contendo testemunho sedimentar retirado da vereda da topossequência FC no intervalo de 100 a 150 centímetros de profundidade.

3.2 ANÁLISES LABORATORIAIS

3.2.1 Descrição macroscópica

As amostras em geral foram descritas de acordo com suas características, tais como cor, textura, estruturas e presença de restos vegetais. Visando-se obter uma eficiente caracterização, essas observações foram feitas com o auxílio de uma lupa e da carta de cores de Munsell para solos.

3.2.2 Análises granulométricas

3.2.2.1 Separação das frações areia, silte e argila

As análises granulométricas dos solos e sedimentos foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da UFPA. Essas amostras foram inicialmente secas em temperatura ambiente e desagregadas manualmente. Posteriormente foram pesadas 100 g de cada amostra, que colocadas em bécker e umedecidas com água foram desagregadas em um aparelho de ultra-som de marca Thornton. Após a desagregação, foram peneiradas, em uma peneira de abertura 0,062 mm, para separação da fração grossa (areia) da fração fina (silte e argila). A areia retida na peneira foi levada à estufa para secagem a 50 °C.

As frações silte e argila em suspensão foram levadas para separação por processo de centrifugação a 1.000 rotações por minuto (rpm) durante 2 minutos, utilizando uma centrífuga

de marca Heraeus Christ modelo 4121. Após o processo de centrifugação, a fração silte que se depositou no fundo do recipiente, foi levada à estufa para secar a uma temperatura de 50 °C. A fração argila que permaneceu em suspensão foi levada novamente à centrífuga a 1500 rpm durante 5 minutos para concentração e depois levada à estufa para secar a uma temperatura de 50 °C. Depois de secas, as frações areia, silte e argila foram pesadas separadamente o que permitiu a determinação do percentual relativo entre as mesmas, e posterior classificação quanto às texturas predominantes nas amostras dos solos e sedimentos estudados, segundo o diagrama ternário de Shepard (1954).

3.2.2.2 Grau de arredondamento e esfericidade dos grãos de areia

Os graus de arredondamento e esfericidade dos grãos de areia (separados previamente) foram determinados em amostras contendo cerca de 100 grãos, através de comparação visual com as tabelas de classes de arredondamento e esfericidade de conforme Suguio (2003). Para a realização destas análises foi utilizada uma lupa binocular com uma câmera fotográfica acoplada, com projeção de imagens em uma tela de computador, o que permitiu uma melhor visualização e a obtenção de fotografias dos grãos. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Gemologia do Museu de Geociências da UFPA.

3.2.3 Análises mineralógicas

As fases mineralógicas presentes nas amostras dos regolitos foram determinadas por difração de raios-X (DRX) em amostra total (método do pó) e em lâmina orientada para identificação dos argilominerais.

Para a identificação dos argilominerais foram preparadas lâminas a partir da fração argila separada durante as análises granulométricas. Da argila em suspensão foram retirados com a ajuda de uma pipeta cerca de 2 ml e espalhados sobre lâminas de vidro. Após um período de 24 horas, essas lâminas já secas foram levadas ao difratômetro, para leitura em condições normais. Após o processo, as mesmas lâminas foram impregnadas com etilenoglicol em um dissecador por 24 horas e novamente analisadas por DRX. Feita essa segunda leitura, as lâminas foram aquecidas a 550 °C durante 2 horas em uma mufla e mais uma vez analisadas por DRX.

Utilizou-se um difratômetro de raios-x de marca PANalytical, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), com Goniômetro PW 3050/60 (theta/theta), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60 kV e com tubo de raios-x cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha_1$ 1,540598 Å),

sendo que posteriormente esse anodo foi substituído por um de Co ($K\alpha 1$ 1,78901 Å), para algumas amostras. A aquisição de dados dos registros foi feita com o software *X'Pert Data Collector*, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o software *X'Pert HighScore* versão 2.1b, também da PANalytical. Todos os equipamentos e softwares utilizados nas análises mineralógicas pertencem ao Laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências na UFPA.

3.2.4 Análises químicas

As análises químicas para a identificação dos elementos maiores e traços incluindo os elementos terras raras foram realizadas a partir de 2g de cada amostra, pulverizadas e fundidas com metaborato/tetraborato de lítio e solubilização ácida. Em seguida, os elementos foram determinados por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). Estas análises foram realizadas no ACMELABS – Acme Analítica Laboratórios Ltda.

Adicionalmente, o perfil sedimentar retirado na vereda AM foi submetido à análise química pelo método não destrutivo de Fluorescência de Raios - X (FRX) utilizando-se um escâner de marca ITRAX (Croudace *et al.* 2006). Os valores para cada elemento foram medidos em intervalos de 5 mm (Mo X-ray tubo, 30 kV, 30 MA, 10s tempo de duração) e são dados em quantidades totais (área de picos do elemento). Essa análise foi realizada no Departamento de Geografia (GEOPOLAR) da Universidade de Bremen na Alemanha.

3.2.5 Análises palinológicas

As análises palinológicas consistiram na identificação e contagem de grãos de pólen e esporos presentes nos sedimentos de cinco testemunhos (FC, AM, TIA, RU e MB) coletados nas diferentes veredas e em 17 amostras de sedimentos superficiais coletadas com o objetivo de analisar a chuva polínica atual da região. Inclui-se também nessas análises a contagem de micro-partículas (5-150 μ m) de carvão presentes nas amostras analisadas.

3.2.5.1 Análises dos testemunhos sedimentares

As amostras de sedimentos dos testemunhos foram previamente submetidas ao tratamento químico padrão conforme Faegri & Iversen (1989), visando-se assim obter como elemento residual somente grãos de pólen. Desse modo, com o auxílio de um medidor de volume feito de aço inoxidável, foram retiradas pastilhas de 1 cm³ de sedimento ao longo dos testemunhos em intervalos fixos de 2,5 ou 5 cm. A estas pastilhas de sedimentos, foram adicionados tabletes de esporos de *Lycopodium clavatum*, visando-se com isso possibilitar o

cálculo posterior da concentração de pólen (grãos/cm³) e a razão da acumulação de pólen (grãos/cm²/ano).

O referido tratamento químico envolveu ataque com ácido clorídrico (HCL), para a eliminação de possíveis carbonatos (CO₃) presentes no material sedimentar e a dissolução da matriz carbonática da pastilha de *Lycopodium*; com ácido fluorídrico (HF) para a eliminação dos silicatos, e finalmente empregou-se a técnica de acetólise (9 partes de anidrido acético para 1 parte de ácido sulfúrico) para a remoção da celulose e polissacarídeos das amostras por oxidação. A partir do material residual foram preparadas lâminas permanentes utilizando-se gelatina glicerinada.

A identificação taxonômica dos palinomorfos foi realizada com auxílio de bibliografias especializadas, mais especificamente, Roubik & Moreno (1991) e Colinvaux *et al.* (1999) e na coleção de Hermann Behling, que inclui cerca de 3000 espécies neotropicais, além de coleção de referência própria adquirida durante os trabalhos de campo.

Normalmente para os trabalhos realizados nos trópicos são contados em torno de 300 grãos de pólen por amostra, entretanto, neste trabalho, devido à super-representação de *Mauritia flexuosa*, optou-se por estabelecer previamente uma curva de saturação que foi atingida aproximadamente em torno de 500 grãos, tendo sido este o número mínimo de grãos polínicos contados em cada amostra. Os demais palinomorfos (esporos e algas) foram contados a parte e todos foram agrupados conforme suas afinidades ecológicas e habitats. A classificação dos palinomorfos identificados em grupos ecológicos foi baseada em estudos disponíveis sobre a ecologia e distribuição de plantas neotropicais (Marchant *et al.* 2002), em levantamentos florísticos realizados na região de savanas (Miranda & Absy 1997, 2000) e de florestas (Sette Silva 1993), além de observações *in situ* durante os trabalhos de campo.

A soma polínica incluiu elementos herbáceos, arbóreo-arbustivos e grãos de pólen indeterminados e não identificados. Os táxons de macrófitas aquáticas, esporos de pteridófitas e briófitas e zigósporos de algas também foram contados e expressos em porcentagens sob o total do somatório polínico. Os mais importantes e freqüentes palinomorfos encontrados nas amostras são ilustrados em pranchas de acordo com as famílias botânicas as quais pertencem (Anexo I).

As partículas carbonizadas com intervalos de tamanho de 5 -150 μ m foram contadas nas mesmas amostras de sedimentos, utilizadas para a contagem dos grãos de pólen e esporos. Os dados são apresentados em termos de concentração (partículas/cm³) e influxo (partículas/cm²/ano).

Para ilustrar e analisar estatisticamente os dados palinológicos foram utilizados os softwares TILIA, TILIAGRAPH e CONISS (Grimm 1987). As análises palinológicas foram iniciadas no Laboratório de Palinologia do Museu Paraense Emílio Goeldi e finalizadas no Departamento de Palinologia e Dinâmica Climática da Universidade de Göttingen - Alemanha.

3.2.5.2 Determinação da chuva polínica atual

Para a determinação da chuva polínica atual da área de estudo, foram inicialmente instalados cerca de 11 armadilhas para grãos de pólen ao longo de um transecto savana-floresta. Entretanto, as mesmas não foram recuperadas em condições apropriadas para o estudo. Dessa maneira, amostras de sedimentos superficiais (2 cm) foram coletadas ao longo da vereda AM (6 amostras), de uma ilha de floresta próxima a esta (4 amostras), além de brejos da savana circundante (7 amostras).

As amostras foram submetidas ao mesmo tratamento já descrito para os sedimentos dos perfis, incluindo adição prévia de *Lycopodium* como marcador exótico, uso de HF e acetólise.

Os resultados de identificação e contagem dos grãos de pólen, esporos e demais palinomorfos, também obedeceram aos mesmos métodos já descritos para os sedimentos e foram posteriormente comparados aos dados dos levantamentos florísticos realizados na mesma região.

3.2.6 Datação radiocarbônica

Subamostras com cerca de 2 cm³ foram retiradas ao longo dos perfis de sedimentos (9 amostras) e encaminhadas ao laboratório do Physikalisches Institut da Universidade de Erlangen na Alemanha e também ao laboratório Beta Analytical nos Estados Unidos onde foram analisadas pelo método de radiocarbono empregando Acelerador de Partículas acoplado a um Espectrômetro de Massa (AMS). As idades C-14 obtidas foram então calibradas em anos antes do presente (AP) através do software CALIB 6.0 (Stuiver & Reimer 1993).

4 A EVOLUÇÃO HOLOCÊNICA TARDIA DA PAISAGEM TRANSICIONAL SAVANA-FLORESTA SUPORTADA PELA MINERALOGIA E QUÍMICA DOS REGOLITOS: O CASO RORAIMA (Submetido à Revista Brasileira de Geociências)

Maria Ecilene Nunes da Silva Meneses¹ & Marcondes Lima da Costa¹

1- Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa, 01, Belém, PA, 66075-110, Brasil.

Resumo O presente estudo foi realizado em uma área de transição savana-floresta do norte do estado de Roraima tendo como objetivo principal avaliar a evolução da paisagem durante o Holoceno Tardio. Assim, foram selecionadas quatro topossequências representativas dos padrões geomorfológicos, pedológicos e botânicos ocorrentes na paisagem, ao longo das quais se coletou amostras dos regolitos. Essas amostras foram analisadas quanto às suas características granulométricas, mineralógicas, químicas e cronológicas. Os resultados revelam uma paisagem dominada por solos arenosos a silticos constituídos essencialmente de quartzo e caulinita e acessoriamente muscovita, goethita, sillimanita e albita. Os altos teores elevados de SiO₂ confirmam o caráter essencialmente quartzoso destes regolitos. As composições mineralógicas e químicas destes materiais indicam proveniência de lateritos desenvolvidos sobre rochas metamórficas tais como gnaisses e quartzitos. As linhas de pedras compostas por fragmentos de quartzo e de crostas lateríticas evidenciam a ocorrência de processos erosivos que sob climas secos rebaixaram progressivamente a topografia. O clima quente e úmido do Holoceno Tardio intensificado durante os últimos 1550 anos AP, a julgar pelo amplo surgimento de veredas de *Mauritia flexuosa* tem proporcionado um intenso processo de intemperismo químico e lixiviação, com a degradação de crostas lateríticas existentes, geração de solos amarelos, areno-silticos e posterior desenvolvimento de extensas planícies arenosas (tipo espodossolos) a partir destes.

Palavras-chave: Evolução da paisagem, Holoceno Tardio, mineralogia e química dos regolitos, área de transição savana-floresta, Roraima-RR

Abstract *The Late Holocene evolution of the savanna-forest transitional landscape supported by mineralogy and chemistry of the regoliths: the Roraima case.* The present study was carried out in an area of transition savanna-forest of the north of Roraima state, and the main objective was to evaluate the evolution of the landscape during the Late Holocene. Thus, four topossequences representative of the geomorphological, pedological and botanical patterns along the regional landscape were selected to sampling of the regoliths. These samples were analyzed as for their granulometrical, mineralogical, chemical and chronological characteristics. The results reveal a landscape dominated by sandy to silty soils constituted essentially of quartz and kaolinite, besides muscovite, goethite, sillimanite and albite in low amounts. The high values of SiO₂ confirm the quartzic character of these regoliths. The mineralogical and chemical compositions of these materials indicate provenience of laterites developed from metamorphic rocks such as gneisses and quartzites. The stone lines composed by fragments of quartz and lateritic crusts evidence the occurrence of erosive processes that under dry climates lowered the topography. The warm and humid climate of the Late Holocene, increased during the last 1550 years AP, judging by the wide appearance of *veredas* of *Mauritia flexuosa*, has been providing an intense process of chemical weathering and leaching with the degradation of existent lateritic crusts, formation of yellow and silty sand soils, and subsequent development of extensive sandy plains (like spodosols) from these soils.

Key-words: Evolution of the landscape, Late Holocene, mineralogy and chemistry of the regoliths, savanna-forest transition area, Roraima-RR

INTRODUÇÃO

A ocorrência de extensas savanas em muitos locais da região amazônica tem levado à realização de diversos estudos que buscam, sobretudo, entender como paisagens tão diversas podem ocorrer em meio a um domínio de floresta tropical típica. A origem das savanas amazônicas é ainda debatida e assim, creditada a vários fatores entre eles a pobreza e deficiência hídrica dos solos e a atuação do fogo natural ou antrópico. No entanto, a mais provável e aceita hipótese segue a teoria dos refúgios, segundo a qual, a Amazônia era dominada por savanas, com ilhas de floresta úmida durante as glaciações do Pleistoceno, que se expandiram paulatinamente e isolaram as savanas, em um processo inverso ao anterior, ao final destas (Haffer 1969; Prance 1981). De acordo com esses estudos as savanas atuais da região amazônica são relíquias das antigas formações abertas que dominaram grande parte do norte da América do Sul. Um dos maiores blocos remanescentes desse tipo de vegetação ocorre nas porções norte e nordeste do estado de Roraima, adentra terras da República da Guiana, e com cerca de 53.000 km² (41.000 km² somente em Roraima), se estende até os limites do rio Rupununi e por isso é denominado de Complexo Rio Branco – Rupununi (Sarmiento & Monasterio 1975). Entre os habitantes locais a região é conhecida como “lavrado”, termo que significa “paisagem desprovida de árvores” (Vanzolini & Carvalho 1991).

Além da cobertura vegetal, as diferentes feições pedo-geomórficas tais como campos de dunas fósseis, planícies lacustres, coberturas lateríticas e linhas de pedras encontradas ao longo dessa região motivaram diversos estudos (Absy 1979; Schaefer 1994; Schaefer & Dalrymple 1996; Carneiro Filho 1991; Simões Filho 2000) que através de dados palinológicos, químicos e sedimentológicos tentam reconstituir paleoambientes e suas respectivas condições climáticas. A maioria dos dados disponíveis para a região de savanas de Roraima diz respeito à parte leste do bloco (lago Caracaranã, região da Raposa Serra do Sol, etc) e arredores da capital Boa Vista que corresponde à zona mais seca da região onde as savanas são essencialmente dominantes. No presente estudo o foco está voltado para a área de transição entre as savanas e a floresta, caracterizada por emaranhado complexo de savanas gramíneas e arbóreas, ilhas e corredores de florestas, veredas de buritis, bem como lagos, campos arenosos, coberturas e remanescentes lateríticos e perfis de solos truncados por linhas de pedras, que conferem à paisagem uma extraordinária heterogeneidade em contraposição a idéia de monotonia normalmente atribuída a esta. O objetivo do presente trabalho é identificar a interação entre os vários regolitos que constituem a paisagem através de suas características

granulométricas, mineralógicas e químicas durante o Holoceno Tardio e ainda a sua evolução frente às atuais condições climáticas.

ASPECTOS FISIOGRAFICOS REGIONAIS

A área de estudo está localizada na porção norte do estado de Roraima entre as coordenadas $3^{\circ} 20' 10''$ e $3^{\circ} 42' N$ e $61^{\circ} 12' 00''$ e $61^{\circ} 34' 05'' W$ e envolve uma área de transição entre savana e floresta tropical amazônicas (Fig. 1).

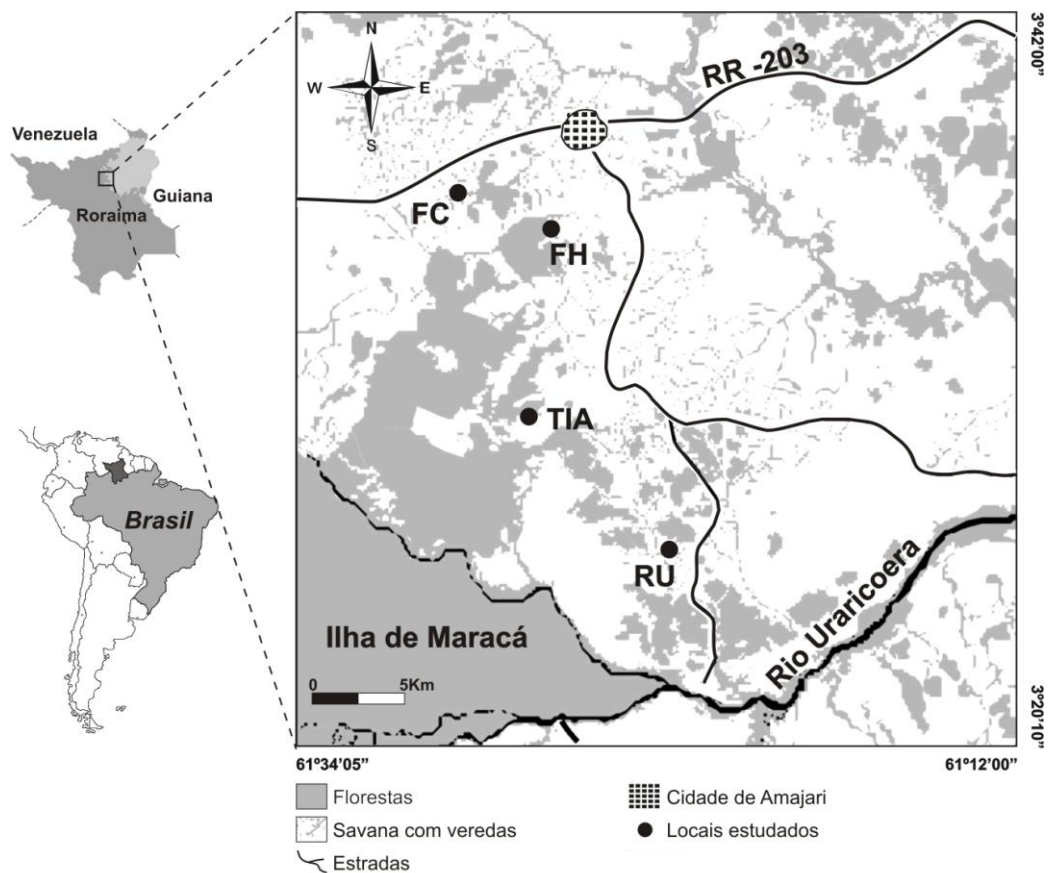


Figura 1 - Localização geográfica da área estudada inserida em uma área de transição savana-floresta e dos locais de amostragem das topossequências: FC – Fazenda Cigana; FH – Fazenda Humaitá; TIA – Terra Indígena Aningal e RU – Rio Uraricoera.

O clima na região de savanas é também tropical úmido Aw (conforme a classificação de Köppen) cuja temperatura média anual é de $27^{\circ} C$, e a precipitação média anual de 1.500 mm. O regime de precipitação define duas estações bem marcadas, uma seca (outubro a março) e outra chuvosa (abril a setembro) (Nimer 1991), em oposição ao padrão dominante na Amazônia.

A área estudada compreende a zona de transição entre as savanas e a floresta tropical, esta classificada como estacional semidecidual (Sette Silva 1993). As savanas de um modo

geral exibem estrato herbáceo dominado por gramíneas (Poaceae e Cyperaceae) permeadas por arbustos e/ou árvores retorcidas de folhas grossas como a *Curatella americana* (Dilleniaceae) e *Byrsonima crassifolia* (Malpighiaceae) (Miranda & Absy 1997). A estrutura e composição florística seguem, por vezes, as variações topográficas e conseqüentemente as variações do lençol freático. Desta maneira, em áreas planas e rebaixadas sujeitas ao afloramento do nível freático predominam as savanas do tipo graminosa, enquanto que nas áreas mais elevadas que constituem os divisores da rede de drenagem as savanas assumem fisionomia arbustiva ou mesmo arbórea, onde as principais espécies *Curatella americana* e *Byrsonima crassifolia* se aglomeram juntamente com outras espécies como a *Xylopia aromatica* (Annonaceae) e *Bowdichia virgilioides* (Fabaceae). Esta última com ocorrência também em meio à floresta (Fig. 2A e B). As veredas formadas pelo enfileiramento serpenteante de palmeiras de *Mauritia flexuosa* (Arecaceae), popularmente conhecidas como buritis, recortam freqüentemente as savanas. Essas veredas ocupam as áreas deprimidas do terreno, onde o lençol freático aflora pelo menos durante a estação chuvosa, embora também ocorram extensivamente ao longo de estreitos cursos d'água (igarapés), desempenhando o papel de mata de galeria (Fig. 2C).

As florestas, por sua vez, ocorrem em manchas e corredores em meio à savana. Quando em manchas, assumem geralmente a forma de ilhas circulares ou elipsoidais e ocupam o topo de morrotes (Fig. 2D) ou mesmo os vales e encostas do relevo formatado em anfiteatros. Os corredores de floresta aparecem ao longo de rios e igarapés de maiores extensões e com maior volume hídrico constituindo as verdadeiras matas de galeria.

Os terrenos geológicos são constituídos por gnaisses, quartzitos, itabiritos, anfíbolitos, quartzo-mica xistos e anfibólio xistos do Grupo Cauarane (Montalvão & Pitthan 1974), sobre os quais se instalaram coberturas pedológicas representadas por latossolos amarelos e vermelho-amarelos, formações lateríticas imaturas e depósitos coluvionares formados por materiais provenientes de todos estes materiais e detritos rochosos, aqui coletivamente denominados de regolitos. O relevo esculpido sobre estes solos e/ou as rochas do referido Grupo varia de plano a suave ondulado ou mesmo colinoso.

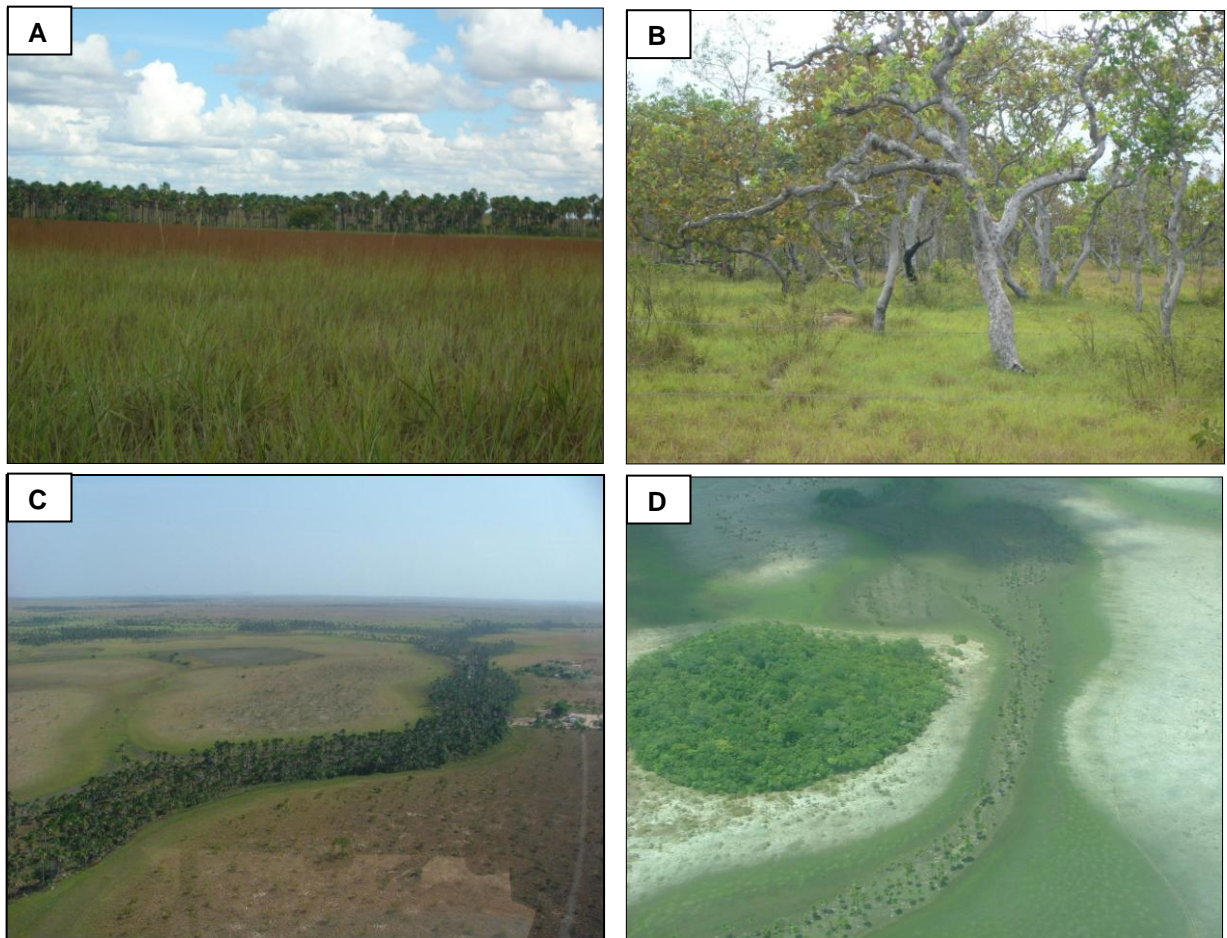


Figura 2 - Aspectos da cobertura vegetal da paisagem de transição savana-floresta: A) savana graminosa com veredas de buritis ao fundo; B) savana arbórea dominada por *Curatella americana* e *Byrsonima crassifolia*; C) Extensas veredas recortando as savanas; D) Ilhas circulares de floresta ocupando áreas mais elevadas do terreno, destaque também para vereda de buritis e brejos ocupando suaves depressões.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostragem

Com vistas a investigar o arranjo dos regolitos (solos, lateritos, sedimentos, etc.) e entender as relações entre estes e os demais constituintes da paisagem (relevo, cobertura vegetal, corpos hídricos etc.), foram selecionados quatro transectos ao longo de vertentes do relevo, denominados aqui de topossequências, que se situam nos domínios da Fazenda Cigana (FC), Fazenda Humaitá (FH), arredores da Terra Indígena Aningal (TIA) e nas proximidades do rio Uraricoera (RU) (ver Fig. 1). Nas depressões ocupadas por veredas de buritis, denominadas simplesmente de veredas, foram coletadas amostras de sedimentos finos com o auxílio de um trado manual tipo Russo. Ao longo das topossequências as amostras foram coletadas com auxílio de trado convencional para solos, alcançando até 100 cm de

profundidade ou em trincheiras abertas para este fim. A amostragem para cada topossequência (incluindo-se as veredas) está indicada na figura 3. As topossequências selecionadas representam os padrões geomórficos, pedológicos e botânicos encontrados na região aqui estudada.

Análises granulométricas

As análises granulométricas consistiram na separação das frações areia, silte e argila, através de peneiramento em meio úmido conforme procedimentos de Embrapa (1997). Nos grãos da fração areia avaliou-se o seu grau de arredondamento e esfericidade por comparação visual com as tabelas de classes de arredondamento e esfericidade apresentadas por Suguio (2003).

Análises mineralógicas e químicas

Os minerais constituintes foram determinados por difração de raios – X (DRX) em amostra total, método do pó. Para a caracterização dos minerais de argila empregou-se a fração argila, assentada em lâmina orientada, então submetida a DRX, em seguida colocada em atmosfera de etileno-glicol e novamente analisada por DRX e por último aquecida e mais uma vez analisada por DRX.

As análises de DRX foram realizadas com auxílio de um difratômetro de raios-x de marca PANalytical, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), com goniômetro PW 3050/60 (theta/theta), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60 kV e com tubo de raios-x cerâmico, anodo de Co ($K\alpha_1$ 1,78901 Å). Os dados foram tratados com o software X'Pert HighScore versão 2.1b, também da PANalytical.

As análises químicas para a quantificação dos elementos maiores e traços incluindo os elementos terras raras (ETRs) foram efetuadas a partir das amostras pulverizadas e fundidas com metaborato/tetraborato de lítio e solubilização ácida. Em seguida, os elementos químicos foram determinados por ICP-EOS e ICP-MS. Estas análises foram realizadas no ACMELABS Ltd.

Datação radiocarbônica dos sedimentos

Três amostras de sedimentos, cada uma representativa da porção basal dos sedimentos de três diferentes veredas foram datadas por radiocarbono com a técnica de AMS no laboratório do Physikalisches Institut da Universidade de Erlangen na Alemanha. As idades C-14 obtidas foram então calibradas em anos antes do presente (AP) através do software CALIB 6.0 (Stuiver & Reimer 1993).

RESULTADOS

As topossequências e os solos

As topossequências FH e TIA situam-se em áreas de relevo colinoso escalonado em anfiteatros côncavo-convexos com vales de fundo chatos, onde o contato entre savanas e florestas é ligeiramente abrupto. Ilhas de florestas ocorrem nos vales em associação com as palmeiras de buritis (veredas), por vezes, fencidas. O déficit hídrico ocasionado pelo assoreamento do canal (FH) e/ou a competição com as espécies da floresta emergente, a qual se alonga também em direção às encostas dos anfiteatros marginais contribui para a rarefação das palmeiras e o conseqüente desaparecimento precoce do ambiente de veredas (Fig. 3B e C). As topossequências FC e RU ocorrem em áreas de savanas predominantemente gramíneas em relevo suave ondulado e/ou plano, onde as florestas se manifestam em ilhas de formato circular no topo de morrotes (RU) ou corredores de mata ciliar entrelaçada com as palmeiras de *Mauritia flexuosa* (FC) (Fig. 3A e D).

A figura 3 mostra que as topossequências compreendem os seguintes materiais regolíticos: no horizonte subsuperficial destacam-se materiais areno-síltico-argilosos de aspecto mosqueado, que sobrepõem um horizonte areno-síltico esbranquiçado (Fig. 3B). Esses materiais correspondem à zona saprolítica de um perfil de alteração intempérica, em que a zona mosqueada se sobrepõe à pálida. O material mosqueado muda em direção à superfície para um solo areno-síltico amarelado na parte superior da vertente e para arenoso esbranquiçado na zona inferior da mesma em todas as topossequências investigadas (Fig 3A - D). Os dados granulométricos confirmam a natureza arenosa, com pouca variação para texturas areno-sílticas dos regolitos estudados (Tab. 1) A morfologia dos grãos de areia é dominada pelos angulosos (cerca de 70 %), subangulosos (20 %) e restante sub-arredondados. Isto sugere proximidade com a área fonte. Cerca de 90 % dos grãos apresenta baixa esfericidade, predominando formas achatadas e alongadas reforçando a idéia de pouco transporte.

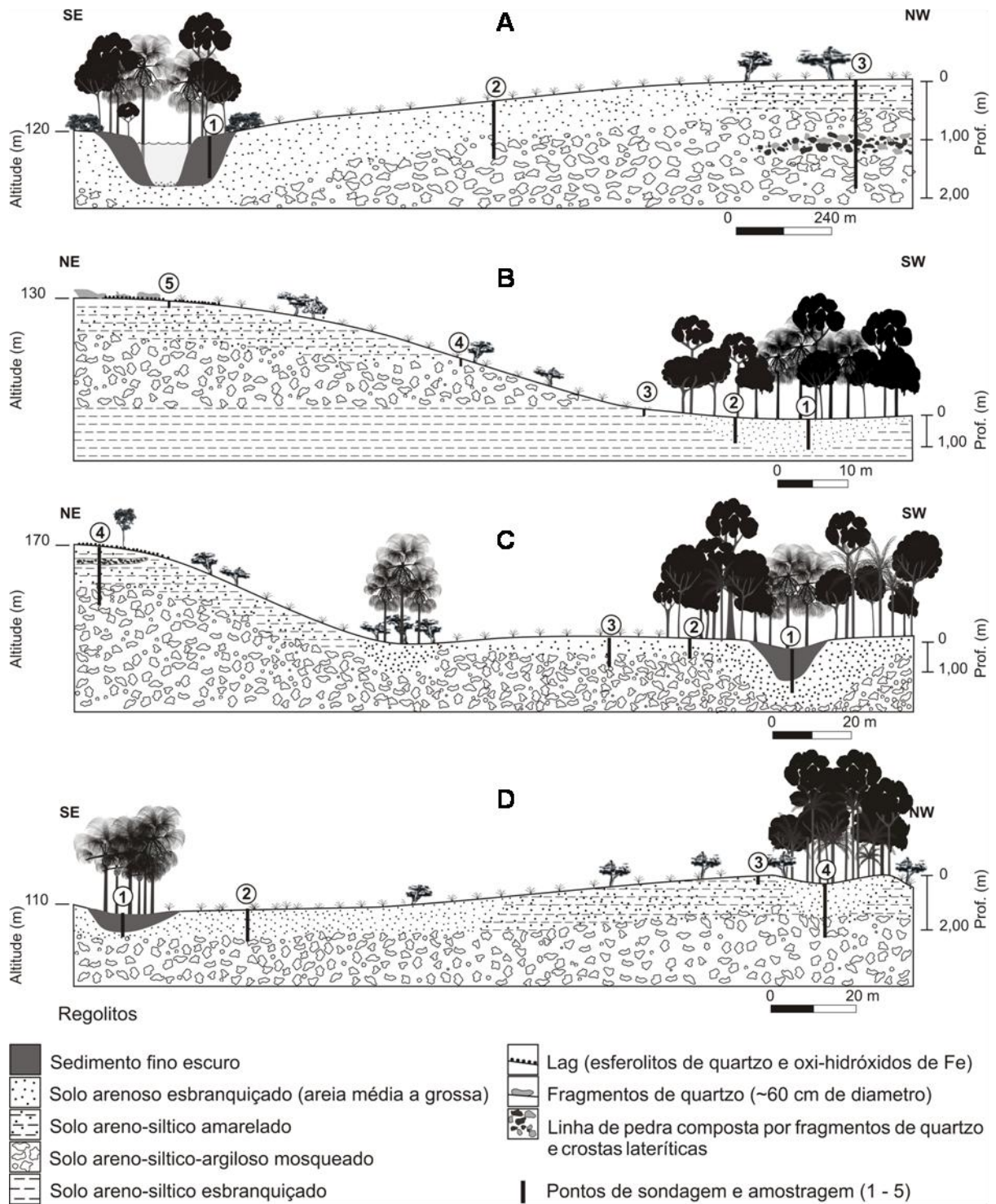


Figura 3 - Esquemas longitudinais das topossequências, destacando os pontos de sondagem e amostragem e mostrando a distribuição da cobertura vegetal e pedológica ao longo das vertentes. A - Fazenda Cigana (FC); B - Fazenda Humaitá (FH); C - Terra Indígena Aningal (TIA); D - Rio Uraricoera (RU).

Linhas de pedras, formadas por fragmentos centimétricos de quartzo leitoso e em parte hialino, bem como de crostas ferruginosas são comuns nesta paisagem. Descontínuas e

com espessura variável e inferior a 40 cm, descrevem uma paleosuperfície ligeiramente ondulada, instalada entre a zona mosqueada e os solos amarelos do topo (Fig. 4B), o que pode demonstrar a natureza alóctone dos solos. Algumas linhas de pedras provêm da fragmentação de veios de quartzo ocorrendo *in situ* ou foram transportados por gravidade, a partir de áreas mais elevadas circundantes, provavelmente erodidas há muito tempo e sob um clima mais seco que o atual.

Acúmulos superficiais representados por tapetes de concreções, esferolitos e fragmentos de OHFe e de quartzo representam depósitos coluviais do tipo *lags* (Figs. 3 e 4A). No topo das topossequências FH e TIA esses *lags* estão localmente soterrados por solo areno-síltico (Fig. 4A), e, portanto, constituem linhas de pedras recentes. Os fragmentos e esferolitos de OHFe correspondem a relictos de crostas ferruginosas. Embora as crostas lateríticas sejam feições muito comuns na paisagem de savanas de Roraima, onde ocupam o topo de morrotes, na área investigada elas são de ocorrência restrita.

Na base das topossequências, no fundo dos vales abertos, o afloramento do lençol freático proporciona a instalação de palmeiras de buritis com distribuição linear, formando as veredas e por vezes, formações arbóreas associadas a estas. Nestas condições acumulam-se depósitos de sedimentos finos escuros, ricos em matéria orgânica, carreados por rolamento e *run off* a partir das encostas de solos arenosos a areno-sílticos por ocasião das chuvas sazonais.

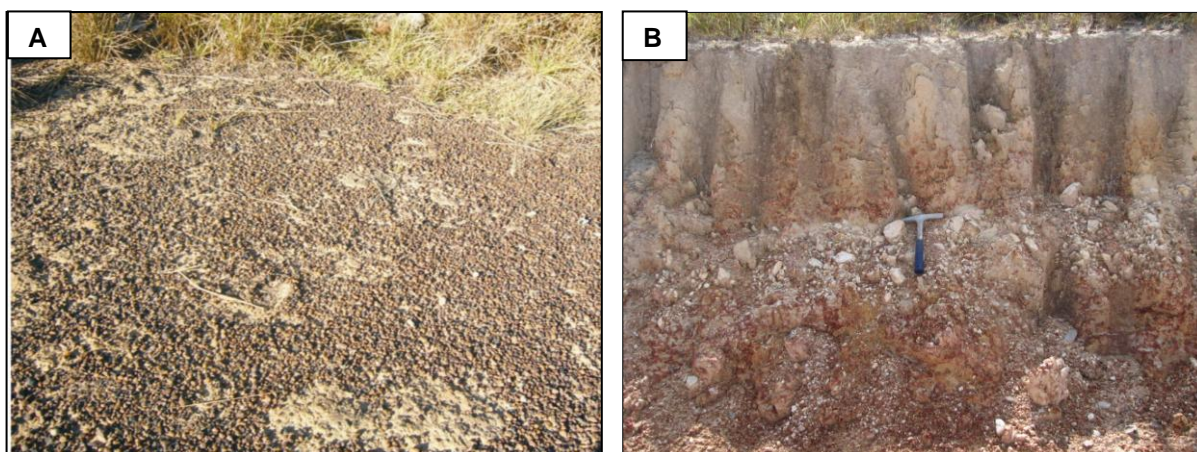


Figura 4 - Tapete superficial formado pelo acúmulo de esferolitos e fragmentos de OHFe e de quartzo, em consequência da lixiviação dos finos por *run off*, instalados sobre e em parte derivados dos solos areno-sílticos amarelados no topo alto das vertentes (A); solo arenoso, tendo na base linha de pedra composta por fragmentos de quartzo e restritamente de crostas ferruginosas entre e sobreposta ao saprólito mosqueado (B).

Tabela 1 - Atributos granulométricos, texturais e cromáticos dos regolitos (saprólito pálido e mosqueado, solos e linhas de pedras), que constituem as topossequências.

Perfil	Profundidade (cm)	Granulometria (%)			Textura ⁽¹⁾	Cor (úmida)
		Areia	Silte	Argila		
TOPOSSEQUENCIA FAZENDA CIGANA – FC						
Perfil - 2	0-20	84,53	13,37	2,1	Areia	10 R 6/2
	20-40	84,63	13,8	1,57	Areia	10 R 7/1
	40-60	85,06	12,68	2,26	Areia	10 R 7/1
	60-80	85,51	11,99	2,5	Areia	10 R 7/1
	80-100	62,46	27,61	9,93	Areia siltica	10 R 8/1
Perfil - 3	0-40	59,8	24,92	15,28	Areia siltica	5 R 5/6
	40 - 190	35,18	34,18	30,64	Areia siltico-argilosa	5 R 5/6
TOPOSSEQUENCIA FAZENDA HUMAITÁ -FH						
Perfil - 2	0-20	94,29	4,5	1,21	Areia	10 R 7/2
	20-40	94,3	4,1	1,6	Areia	10 R 7/2
	40-60	92,4	5,4	2,2	Areia	10 R 5/1
	60-80	91,15	6,01	2,84	Areia	10 R 5/1
Perfil - 3	0-20	54,81	26,62	18,57	Areia siltica	10 R 7/2
Perfil - 4	0-20	64,85	27,13	8,02	Areia siltica	10 R 6/8
Perfil - 5	0-50	68,23	24,77	7	Areia siltica	10 R 6/8
TOPOSSEQUENCIA TERRA INDIGENA ANINGAL – TIA						
Perfil - 2	0-20	83,38	12,52	4,1	Areia	10 R 5/3
	20-40	80,61	16,69	2,7	Areia	10 R 5/3
	40-60	75,69	18,23	6,08	Areia	10 R 5/3
	60-80	74,18	23,08	2,74	Areia	10 R 5/3
Perfil - 3	0-20	94,97	3,95	1,08	Areia	10 R 7/2
	20-40	93,69	5,4	0,91	Areia	10 R 7/2
	40-60	93,13	6,59	0,28	Areia	10 R 7/2
	60-80	93,66	5,09	1,25	Areia	10 R 7/2
Perfil - 4	80-100	91,78	6,3	1,92	Areia	10 R 8/1
	0-100	41,73	25,97	32,3	Areia siltico-argilosa	10 R 6/8
	100-120	35,51	33,65	30,84	Areia siltico-argilosa	7.5 R 5/8
TOPOSSEQUENCIA RIO URARICOERA – RU						
Perfil - 2	0-20	90,7	6,61	2,69	Areia	10 R 7/2
	20-40	93,17	5,49	1,34	Areia	10 R 7/2
	40-60	93,13	5,21	1,66	Areia	10 R 7/2
	60-80	83,46	10,89	5,65	Areia	10 R 7/2
	80-100	79,4	13,25	7,35	Areia siltica	10 R 7/2
Perfil - 3	0 -20	41,86	33,89	24,25	Areia siltica	10 R 6/8
Perfil - 4	0-20	81,91	14,33	3,76	Areia	10 R 5/3
	20-60	78,13	15,62	6,25	Areia	10 R 5/3
	80-100	43	25,63	31,37	Areia siltico-argilosa	10 R 6/8

1- Classificação conforme Shepard (1954)

Os sedimentos das veredas: aspectos litológicos e cronológicos

Os corpos de sedimentos das veredas variam muito quanto à espessura, textura e idade (Tab. 2). Enquanto que os sedimentos arenosos da vereda de FH não puderam ser datados por falta de material adequado para este fim, aqueles da vereda de RU, com domínio de silte com muita matéria orgânica, apresentaram idade radiocarbono negativa, indicando formação moderna. Já na seqüência da vereda TIA que compreende material arenoso nos primeiros 75 cm basais e argila siltica rica em matéria orgânica nos 75 cm superiores, a sedimentação com acúmulo de matéria orgânica começou há 1346 +/- 40 anos calibrada em 1200 anos AP, o que reflete o aumento da umidade no local. Na vereda da topossequência FC os sedimentos finos com matéria orgânica começaram a se acumular a partir de 1718 +/- 40 anos, idade calibrada em 1550 anos AP. São, portanto, veredas relativamente jovens, contribuindo para a formatação da paisagem, cuja presença resulta da farta disponibilidade hídrica nos solos que propicia a formação de brejos herbáceos e em seguida a instalação das palmeiras.

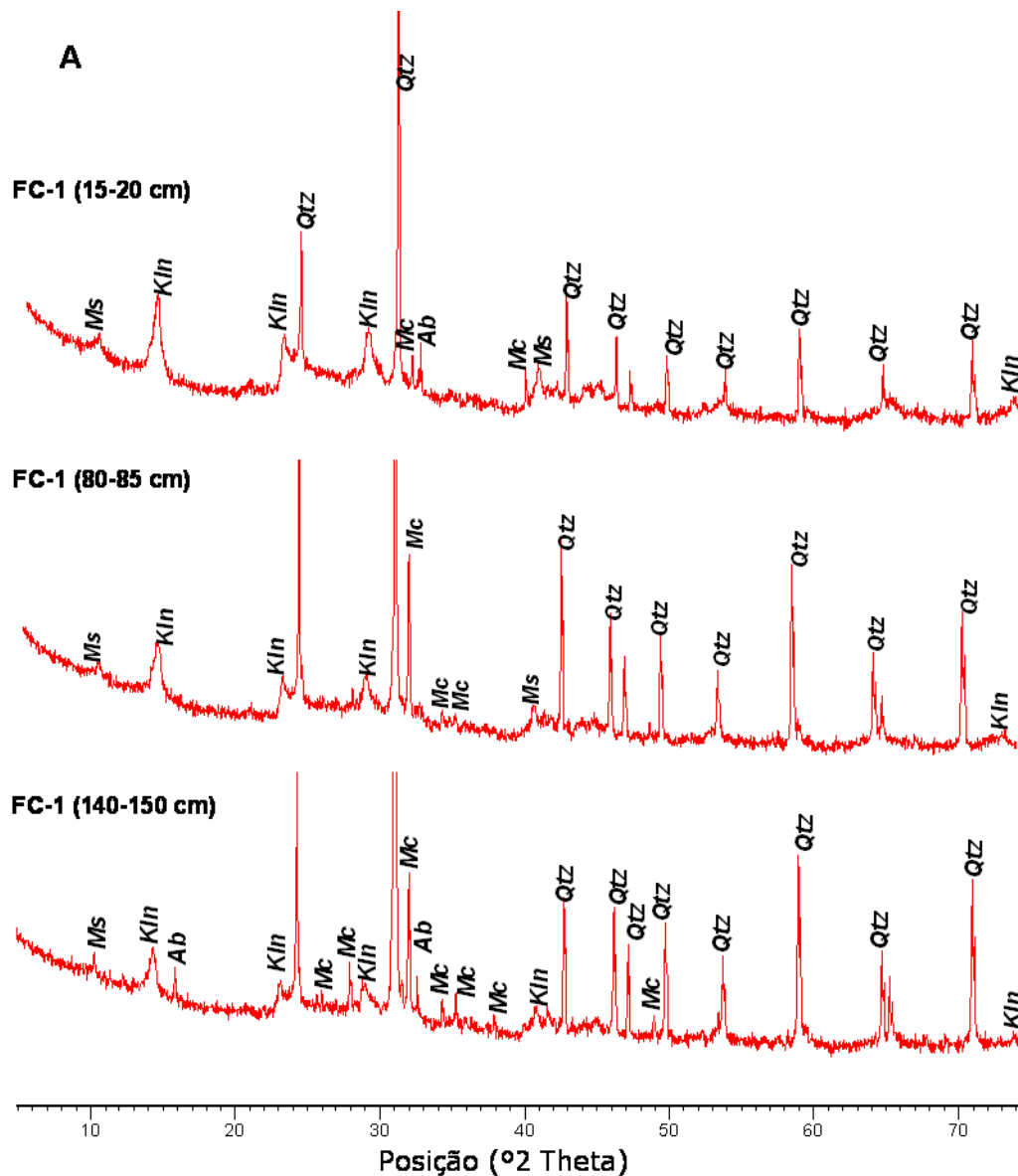
Tabela 2 - Descrição litológica e da cronologia basal dos sedimentos das veredas situadas nos vales das topossequências estudadas.

Vereda (Perfil)	Profundidade (cm)	Descrição litológica	Início da vereda (anos calib. AP)
FC-1	0-27	Argila siltica, cinza escuro contendo restos vegetais	1550 anos
	27 – 80	Silte arenoso cinza escuro com raízes	
	80 -120	Silte arenoso marrom claro com bandas alaranjadas	
	120 -150	Areia fina preta com restos vegetais	
TIA-1	0 – 30	Argila siltica preta rica em matéria orgânica decomposta	1200 anos
	30 -55	Argila siltica cinza escuro	
	55 – 75	Areia fina cinza escuro	
RU-1	75 – 150	Areia grossa compacta com fragmentos de quartzo (3 cm), tons esverdeados com bandas alaranjadas	Atual
	0 – 47	Silte argiloso cinza escuro com presença de macro-restos vegetais	
	47 -75	Areia incoesa castanho- amarronzada	

Mineralogia

Os regolitos arenosos e areno-sílticos a argilosos aqui estudados são compostos essencialmente por quartzo e caulinita. Muscovita, microclínio e albita encontram-se como acessórios (Fig. 5A); esses dois últimos indicam elevada imaturidade desses regolitos e/ou área fonte proximal. Nas topossequências RU e TIA, além destes minerais ocorre também sillimanita principalmente nos sedimentos das veredas (Fig. 5B), uma forte evidência da

contribuição de rochas metamórficas, que constituem o embasamento dos regolitos. Hematita e goethita estão presentes apenas nas zonas saprolíticas mosqueadas de todas as toposseqüências. Na fração $2\ \mu\text{m}$, a caulinita foi o único mineral de argila identificado, o que por outro lado mostra elevado índice de alteração intempérica. A convivência entre minerais estáveis e instáveis mostra a participação de rochas com diferentes graus de truncamento, do topo ao saprólito ou mesmo rocha-sã proximal, e relativa atividade erosional.



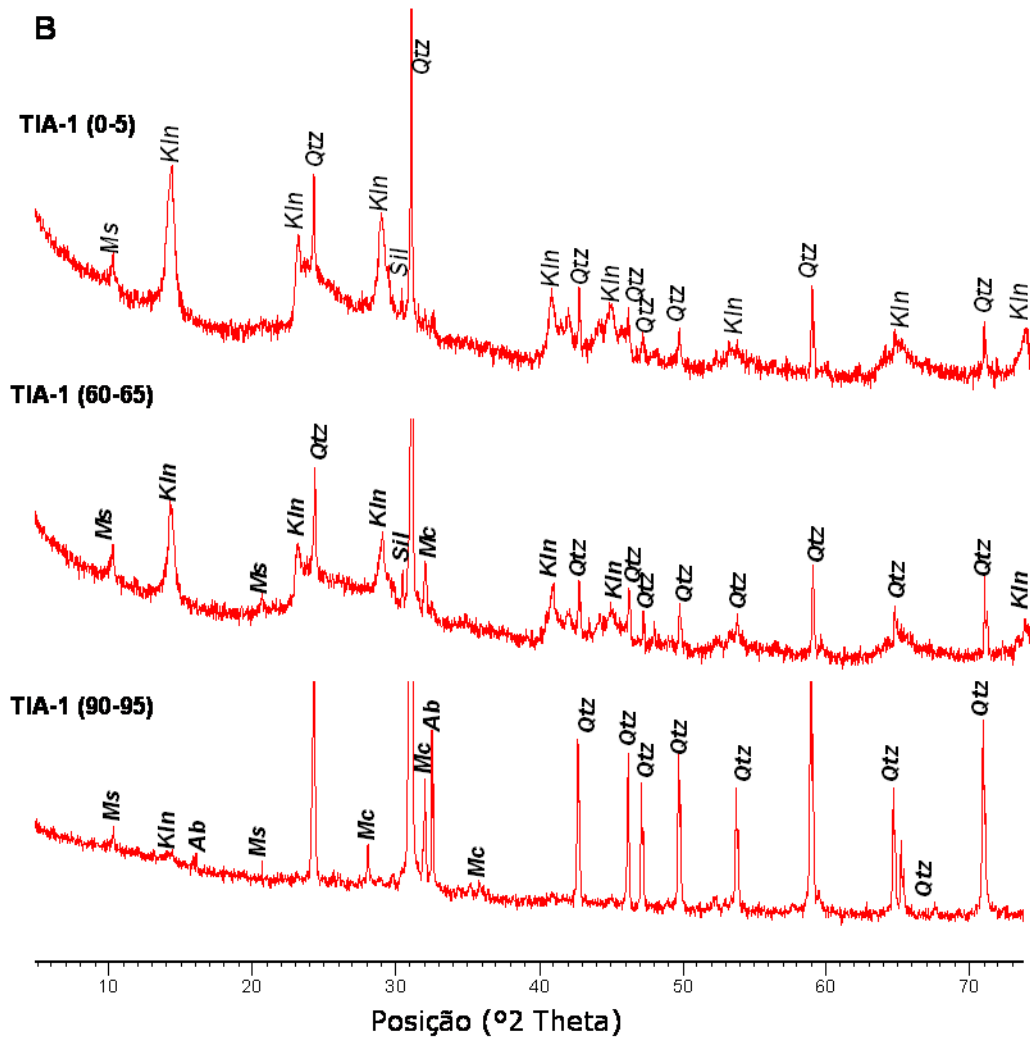


Figura 5 - Difratomogramas de raios-x ($CoK\alpha$) mostrando as fases mineralógicas nos sedimentos das veredas FC (A) e TIA (B): quartzo (Qtz), caulinita (Kln), muscovita (Ms) microclínio (Mc), albíta (Ab) e sillimanita (Sil).

De uma forma geral, as assembléias mineralógicas identificadas nos regolitos mostram grande afinidade entre sedimentos das veredas e o saprólito e seu respectivo manto de solos, indicando que de fato derivaram de mesma fonte, com domínio de aluminossilicatos, de metapelitos metamorfizados em alto grau inferido pela presença de sillimanita nas veredas (RU-1 e TIA-1). A presença de albíta e microclínio tanto nos sedimentos das veredas como nos solos arenosos das baixas encostas também reforça a proveniência metamórfica (gnaisses) ou granítica e indica rocha fonte proximal, como já demonstrado. Esses dados se coadunam com os conhecimentos prévios da geologia da área, cujas unidades geológicas são constituídas por gnaisses, xistos e quartzitos do Grupo Cauarane que vem a ser o substrato desses regolitos.

Composição química

ELEMENTOS MAIORES E MENORES

Os solos das topossequências e os sedimentos das veredas associadas são constituídos principalmente por SiO_2 (46,14 a 98,56 %), e Al_2O_3 (0,75 a 27,59 %), em parte Fe_2O_3 (0,07 a 14 %), K_2O (0,03 a 1,67 %) e TiO_2 (0,04 a 1,1 %). Os teores de MnO , MgO , CaO , Na_2O , e P_2O_5 encontram-se abaixo de 0,04, 0,27 0,03 e 0,16 %, respectivamente. Os altos valores de SiO_2 refletem a natureza quartzosa destes regolitos. Os valores mais altos de Al_2O_3 e Fe_2O_3 estão no saprólito mosqueado, respectivamente representando caulinita muscovita e hematita goethita. Os valores de K_2O (0,03 a 1,67 %) estão associados a muscovita. Os valores médios (Fig. 6) deixam claro que os solos das altas encostas são mais ricos em SiO_2 , porém, mais pobres em Al_2O_3 , K_2O e PF (representada por MO, principalmente). Esta composição química reflete o domínio de quartzo, com caulinita, sillimanita e muscovita, além da matéria orgânica, em que quartzo é preponderante nos solos, enquanto caulinita, muscovita, sillimanita e MO nos sedimentos.

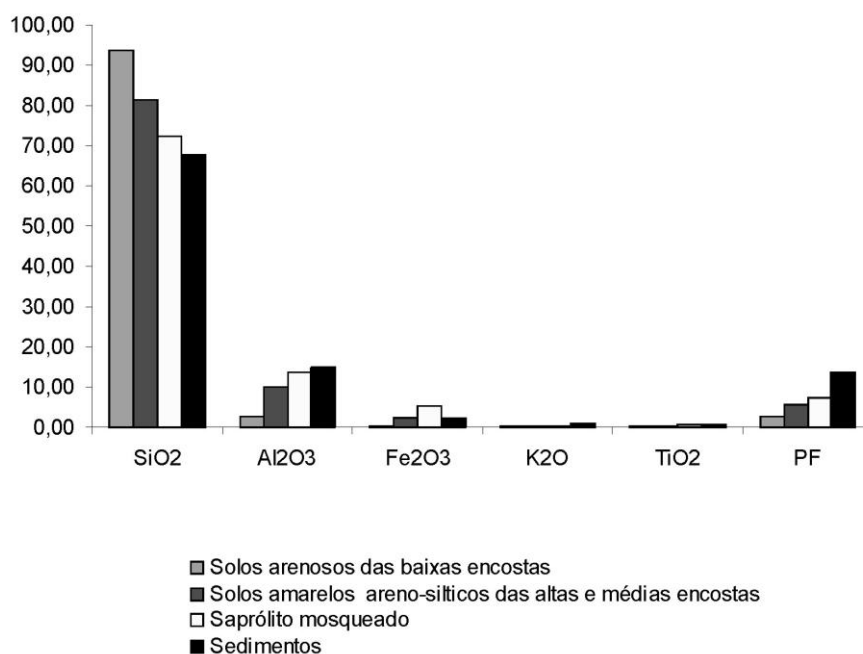


Figura 6 - Distribuição dos teores médios dos elementos maiores e perda ao fogo (PF) nos diferentes regolitos das topossequências

Quando normalizados aos sedimentos PAAS e mesmo aos valores crustais (Fig. 7) constata-se que são materiais empobrecidos em Mn, Mg, Ca, Na e K, com maior destaque para Ca, seguido por Mg e Na, portanto, muito lixiviados, retratando as condições de intensa alteração intempérica, que tem reinado na região. Os solos como os materiais mais

empobrecidos nestes elementos, enquanto o saprólito mosqueado e os sedimentos se equivalem.

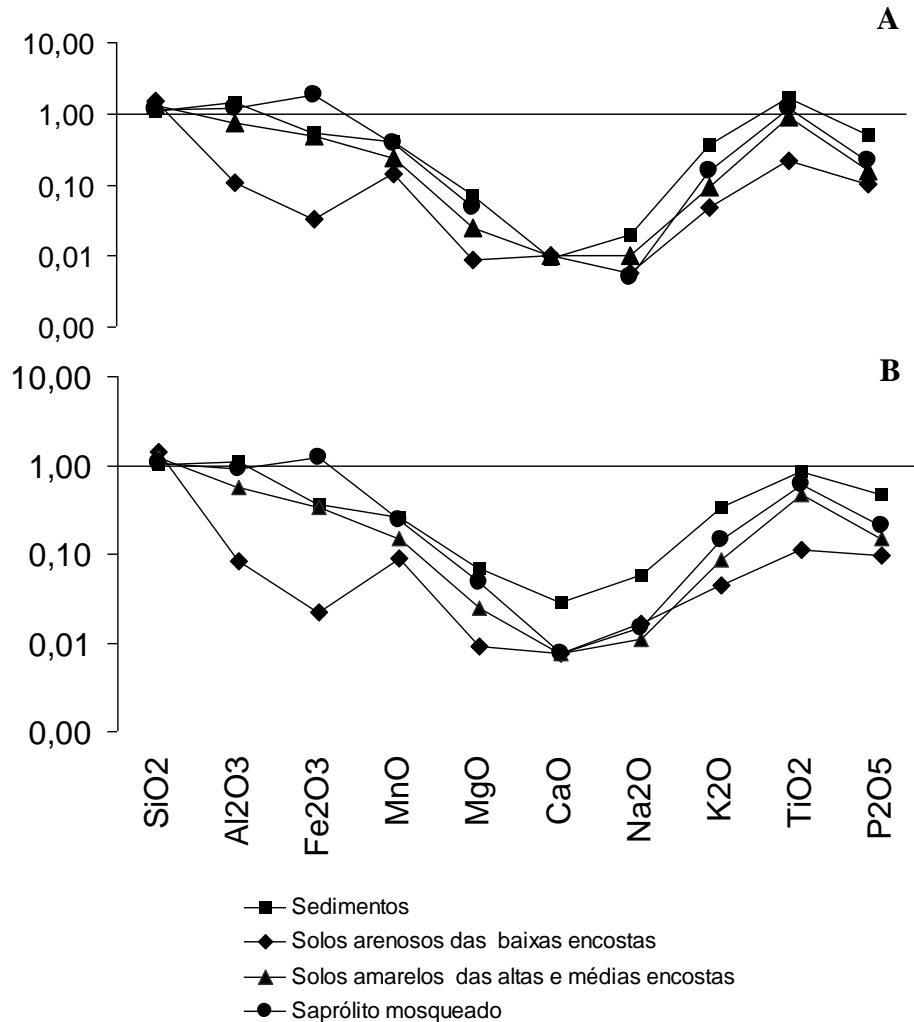


Figura 7 - Normalização dos valores médios dos elementos maiores nos regolitos em relação a CTS (A), a partir dos dados de Wedepohl (1995) e em relação ao padrão PAAS (B), segundo dados de Taylor & McLennan (1985).

A comparação entre vários índices de alteração química calculados para estes regolitos e para alguns padrões de referência (CTS, PAAS, granito) confirma o alto grau de intemperização sofrido por estes materiais em relação a estes mesmos padrões. Porém, com valores dos índices CIA e CIW próximos ou iguais a 100, são similares aos solos e sedimentos de regiões próximas como a Formação Boa Vista (FBV), planície do Rio Branco e crostas lateríticas (Fig. 8). O índice STI desenvolvido especialmente para medir o grau de intemperismo de rochas metamórficas apresenta valor médio de 83 corroborando a alteração química dos regolitos estudados. Os diagramas ternários da figura 9 permitem confirmar a

dedução geológica suportada pela granulometria e mineralogia em que os regolitos intempéricos (solos e saprólito mosqueado) foram a principal fonte dos sedimentos das veredas, carreados (lixiviação) por *run off*. As argilas, muito finas, foram carreadas para as depressões das veredas, enquanto quartzo mais grosso, acumulou-se relativamente nas vertentes, enquanto MO representa o acúmulo de detritos vegetais desenvolvidos na vereda, humificados.

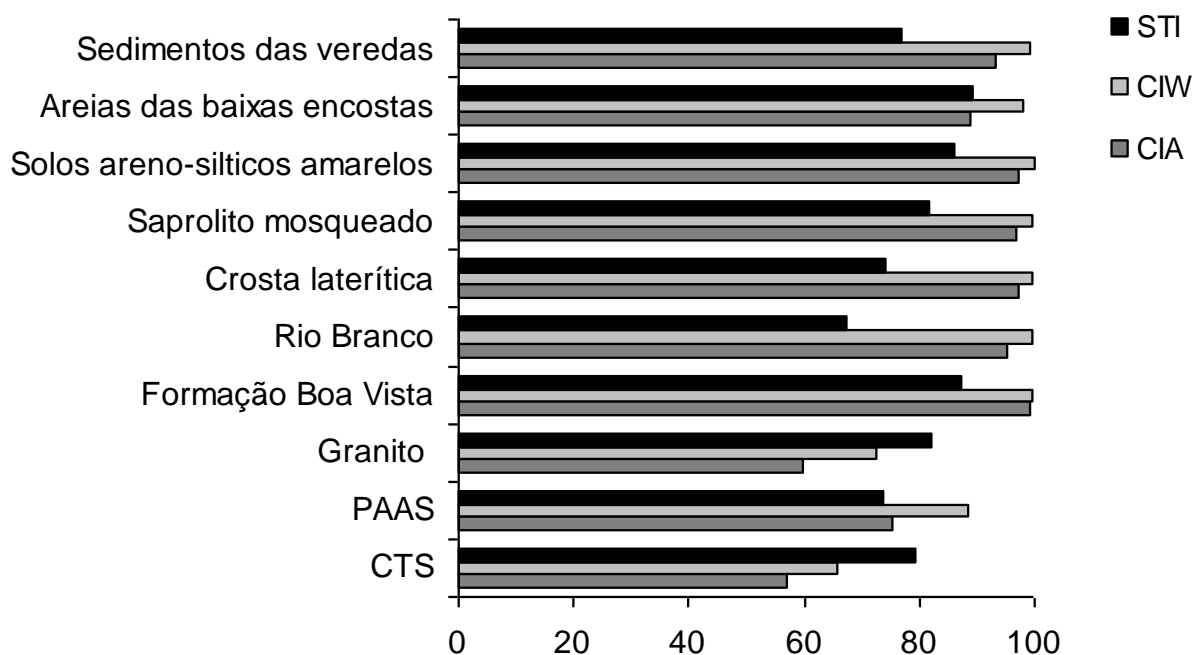


Figura 8 - Diferentes índices de alteração química para os materiais regolíticos da área de transição savana-floresta de Roraima, comparados entre si e aos padrões CTS (Wedepohl 1995); PAAS (Taylor & McLennan 1985); Rio Branco e Formação Boa Vista (Meneses *et al.* 2007). Índices de intemperismo: CIA: “Chemical Index of Alteration”; CIW: “Chemical Index of Weathering”; STI: “Silica – Titania Index” (Fonte: Price & Velbel 2003).

A grande variação na composição química nos solos em si reflete a íntima ligação com seus distintos horizontes que estão bem delineados. Da mesma forma a grande variação nos sedimentos retrata a estruturação em domínio de areia na base dos perfis e de silte e argila, com matéria orgânica, no topo. A estratigrafia química observada nos sedimentos das veredas é espelhada pela diminuição nos valores de SiO_2 e aumento de Al_2O_3 e PF (MO) em direção ao topo (Fig. 10). Os baixos teores de Fe_2O_3 , TiO_2 e MgO explicados pela lixiviação (Fe_2O_3 e MgO) e diluição pela MO (TiO_2) mostram pouca variação ao longo dos perfis. Os OHFe em presença de MO humificada são decompostos, com Fe^3 reduzido e então lixiviados, podendo acumular-se no horizonte B espódico (hardpan) do espodossolo. TiO_2 na forma de anatásio é

estável, mas pode ser diluído pelo grande acúmulo de MO, da mesma forma SiO_2 como quartzo, que pode ser parcialmente solubilizado e seqüestrado pelas formações graminosas e arbustivas.

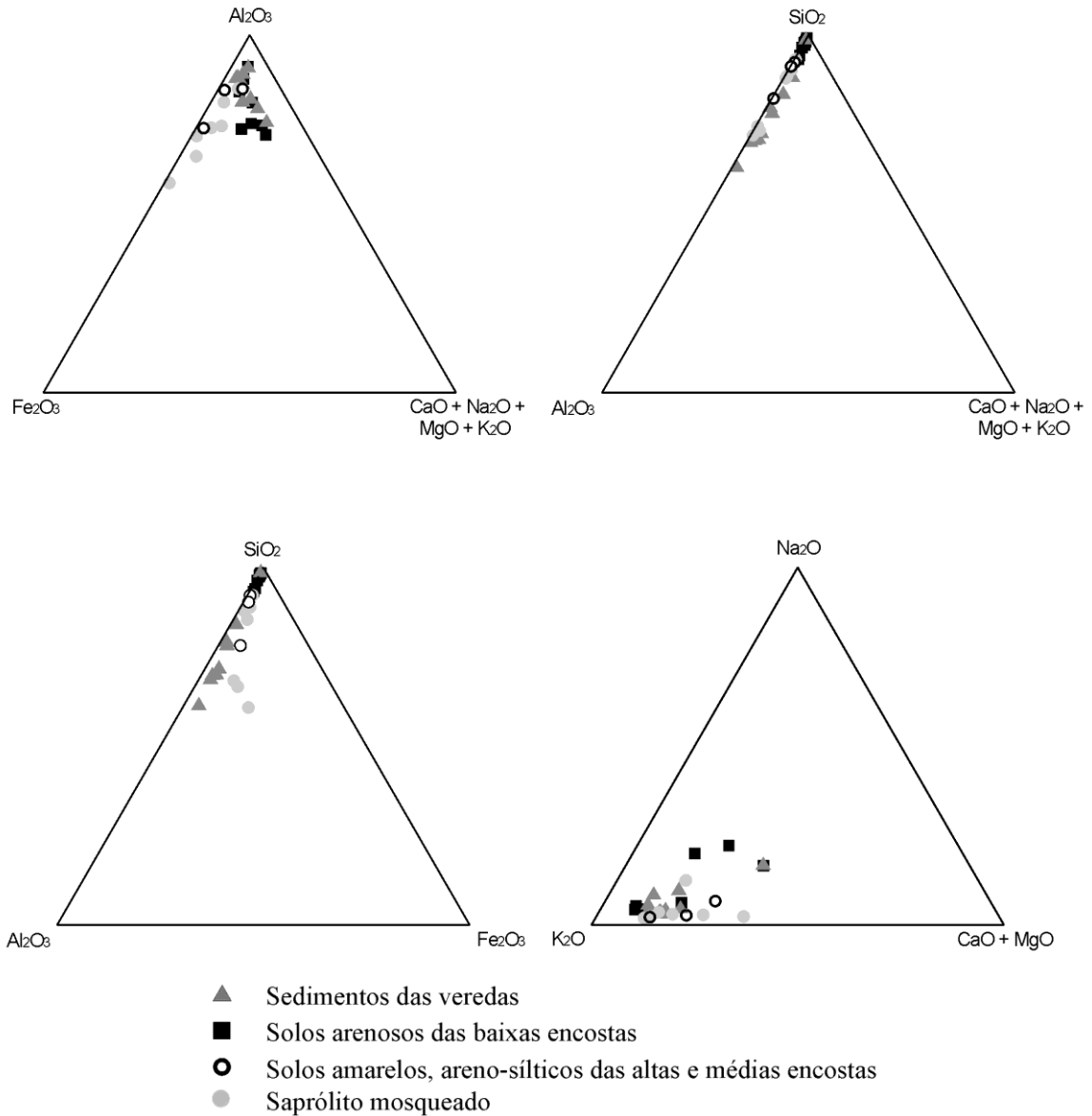


Figura 9 - Diagramas ternários comparando entre si a composição química dos diferentes regolitos, evidenciando o enriquecimento em SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e K_2O e empobrecimento em álcalis (CaO , MgO , Na_2O).

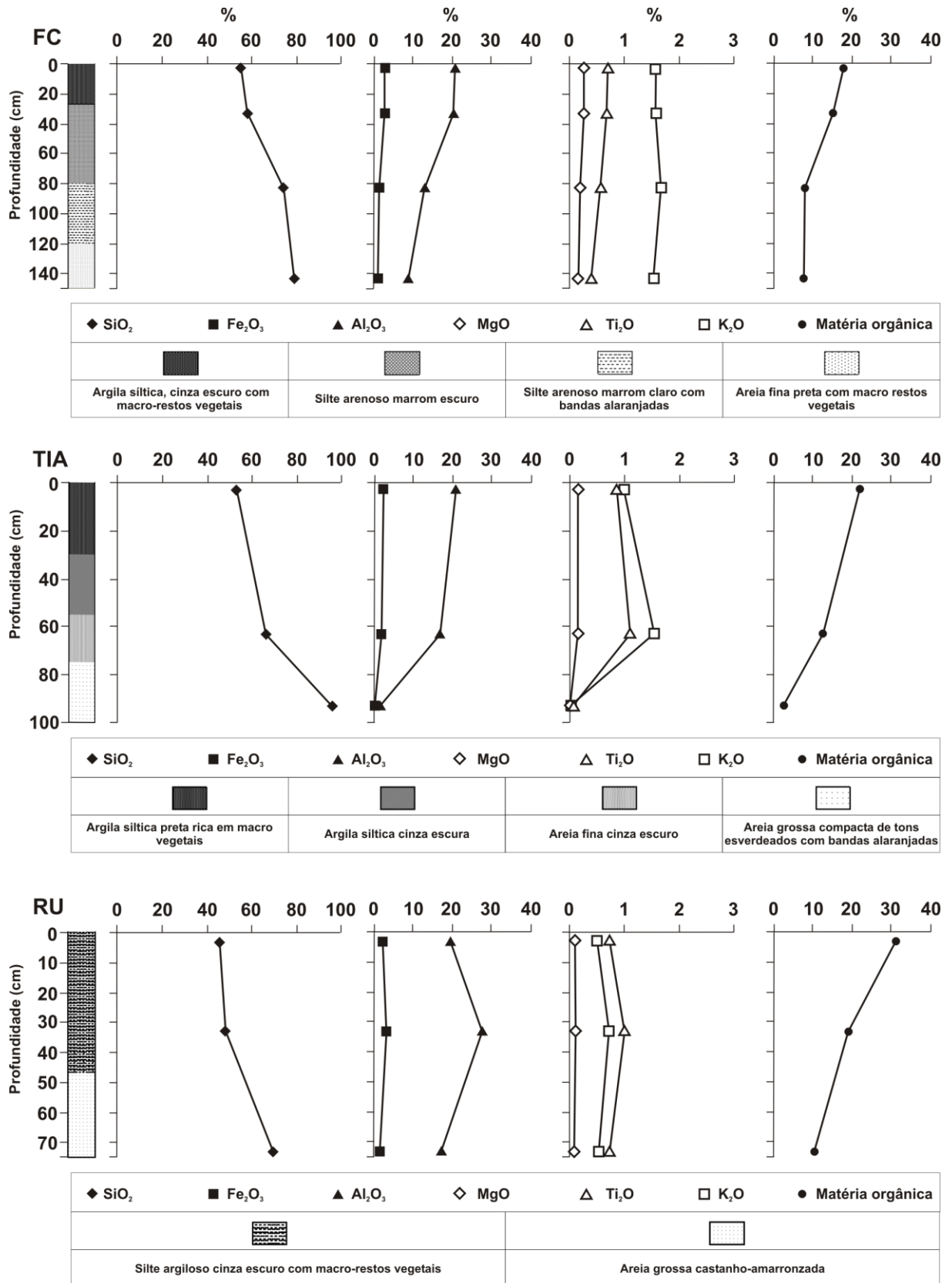


Figura 10 - Distribuição das concentrações de SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, MgO, TiO₂, K₂O e MO (matéria orgânica) ao longo dos perfis de sedimentos das veredas: FC – Fazenda Cigana; TIA – Terra Indígena Aningal e RU – Rio Uraricoera.

ELEMENTOS TRAÇOS E TERRAS RARAS

Os regolitos da zona de transição savana-floresta em Roraima mostram concentrações dos elementos-traço em nível inferior aos valores da crosta superior, ou seja, são relativamente lixiviados, exceto para aqueles que classicamente se encontram em estruturas de minerais muito estáveis ao intemperismo, como zircão e anatásio, que estão relativamente enriquecidos. Destacam-se Sc, U, Th, Sc, Hf, Zr e Y , típicos de zircão, encontrado como acessório menor nos regolitos. O elemento Ga enriquece-se apenas nos materiais ricos em caulinita (saprólito e sedimentos). Por sinal, os sedimentos das veredas e o saprólito mosqueado se equivalem razoavelmente em termos de concentrações dos elementos-traço, enquanto se distanciam dos solos, que são, portanto, os materiais mais lixiviados, exceto para U, Zr e Hf, também como zircão. Os solos, com a perda de minerais de argila e dos OHFe por eluviação e *run off*, enriquecendo-se cada vez mais em quartzo, conseqüentemente empobrecem nos elementos-traço relacionados com as argilas e goethita-hematita os quais vão, por sua vez concentrar-se relativamente nos sedimentos das veredas. Elementos móveis Ba, Be, Co, Co, Zn, Cs, Rb, Sr, embora lixiviados, concentraram-se em relação aos solos (Fig. 11).

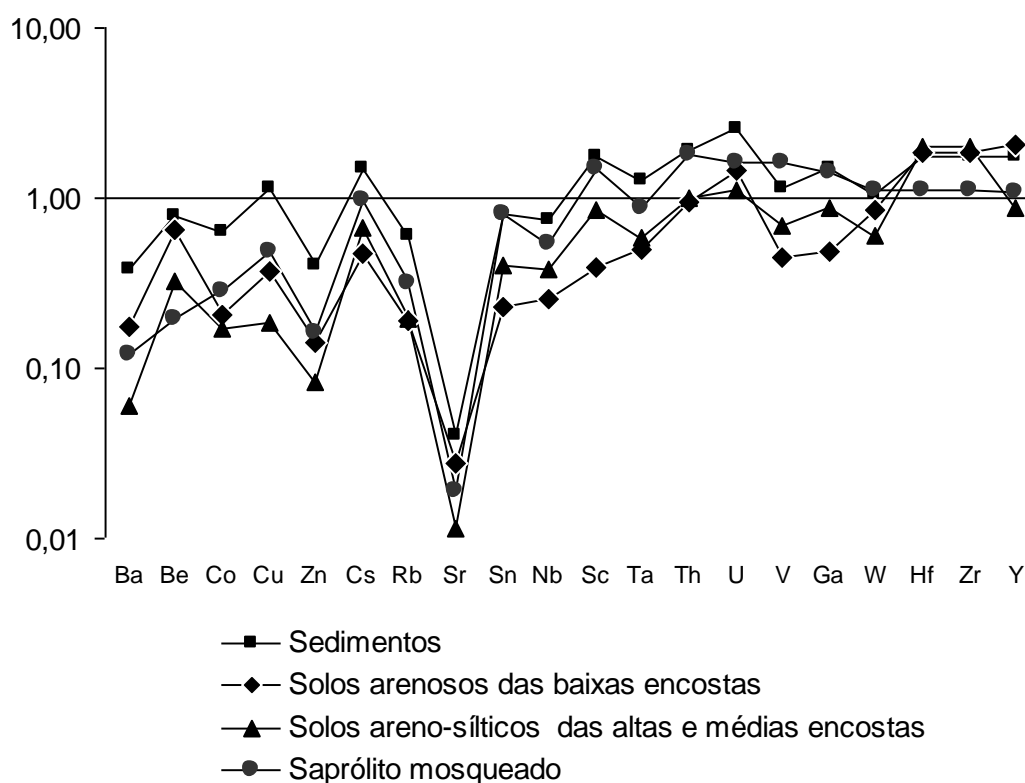


Figura 11 - Normalização dos valores médios de concentração dos elementos traços em relação à crosta terrestre (dados de Wedepohl 1995).

Os sedimentos e o saprólito mosqueado também se assemelham entre si em termos de concentrações dos elementos terras raras, principalmente em relação aos ETRP, cujos valores estão ligeiramente enriquecidos quando confrontados com aqueles da crosta (CTS) (Fig. 12). Os solos encontram-se muito mais lixiviados em ETR quando comparados com a CTS, mas, com menor tendência para os ETRP, da mesma forma que os sedimentos e saprólito. O padrão de distribuição normalizado aos condritos é semelhante para todos os regolitos, com clara anomalia negativa de európio, mesmo de hólmio, e enriquecimento em ETRL (Fig. 12), refletindo de certa forma o padrão destes elementos no mineral zircão, confirmando este mineral como hospedeiro destes elementos. A similaridade de comportamento dos ETR entre os diferentes regolitos mostra a afinidade mineralógica e química entre eles, e, portanto, laços de evolução.

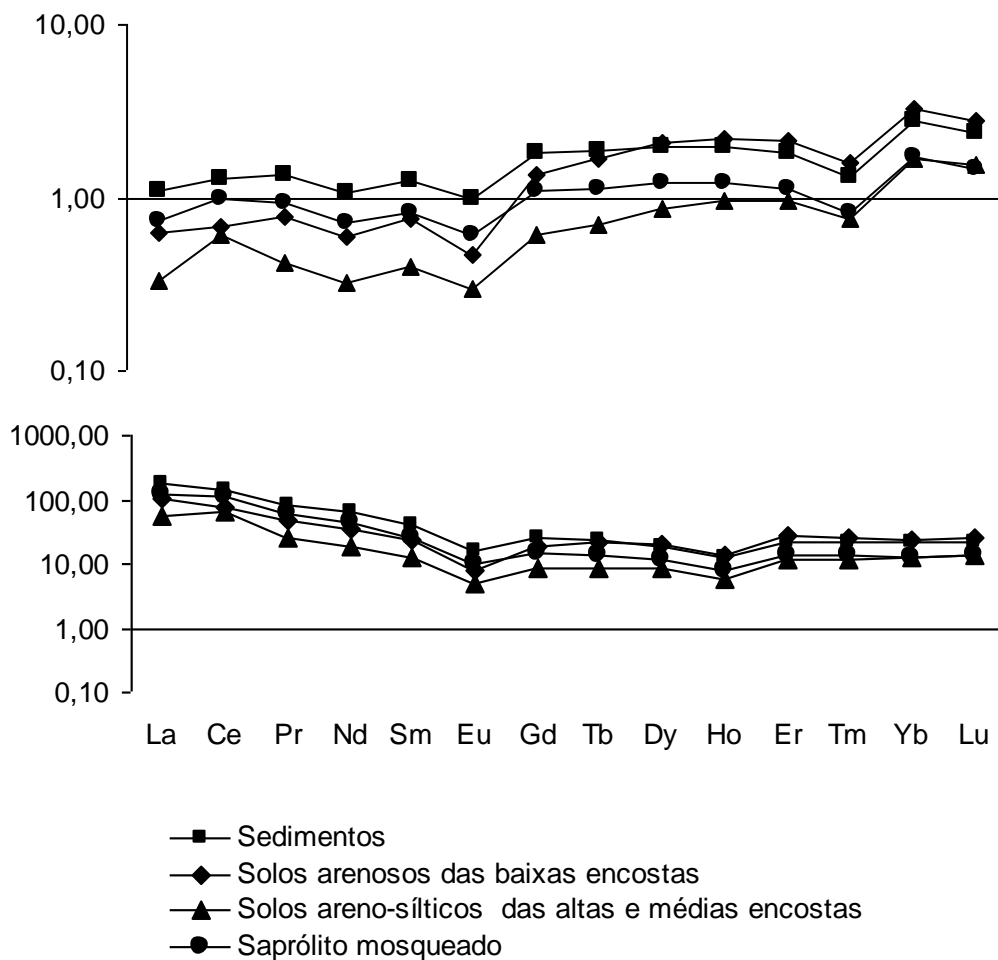


Figura 12 - Normalização dos valores médios de concentração dos elementos terras raras em relação à crosta terrestre (dados de Wedepohl 1995) (acima); e em relação aos condritos (dados de Evensen *et al.* 1978) (abaixo).

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Em algumas regiões da América do Sul similares a esta, estudos têm demonstrado um notável avanço das florestas sobre as áreas de savanas ao longo dos últimos milênios como resposta às novas condições climáticas marcadamente mais úmidas que têm vigorado desde então (Behling & Hooghiemstra 1998, 1999 e 2000; Gouveia *et al.* 1997; Pessenda *et al.* 1998; Mayle *et al.* 2000; Freitas *et al.* 2001; Burbridge *et al.* 2004). Em Roraima, esta situação parece se repetir, a julgar inicialmente pela atual configuração da paisagem marcada por ilhas de floresta em matriz savânica e retalhos de savana envolvidos por florestas ricas em palmeiras, e também devido à presença de espécies de florestas espalhadas pela savana, a exemplo da *Bowdichia virgilioides* encontrada em florestas tropicais como a amazônica e a Mata Atlântica. Dados palinológicos obtidos a partir de sedimentos coletados em algumas das veredas aqui estudadas apresentam evidências contundentes de que as florestas estão de fato se expandindo sobre as savanas pelo menos ao longo dos últimos 1.550 anos AP (Meneses *et al.* submetido).

Os dados granulométricos, mineralógicos e geoquímicos demonstram que os regolitos são diferentes, porém guardam forte afinidade entre si. São regolitos produtos de intensa alteração intempérica, confirmados pelos diversos índices empregados para esse fim. Estes solos areno-quartzosos, ricos em SiO₂ e extremamente pobres em álcalis servem indistintivamente de substrato para ambas as formações savana e floresta, e, portanto, não se constituem em barreiras à ocupação florestal. O afloramento do lençol freático na base das vertentes promoveu o estabelecimento das veredas de buritis e conseqüente desenvolvimento de floresta ciliar associada a *Mauritia flexuosa*.

As topossequências FH e TIA nos segmentos de topo (perfis FH-5 e TIA-4 respectivamente) exibem resquícios (esferolitos de oxi-hidróxidos de ferro e fragmentos de quartzo compondo um *lag* na superfície ou em camadas soterradas pelo solo) daquilo que foi uma crosta de perfil laterítico ferruginoso, à semelhança de muitas outras que ainda se mantêm preservadas nos domínios de savanas mais secas. Essas crostas retratam alternâncias de climas secos e úmidos atuantes na área durante o Pleistoceno, (quijá períodos anteriores) e que com o retorno de maior umidade entram em desequilíbrio com o meio e sofrem degradação biofísica e bioquímica, o que resulta na geração de latossolos concrecionários (Tardy 1993). A transformação de crostas lateríticas em latossolos tem sido amplamente discutida no âmbito amazônico, e a atividade vegetal é apontada como um dos fatores importantes nesse processo (Horbe & Costa 1997, 1999, 2005).

Os perfis lateríticos truncados ao nível do horizonte mosqueado, aflorantes na área, contribuíram substancialmente com a formação *in situ* dos solos arenosos a areno-sílticos, e em conjunto com a formação dos sedimentos das veredas vertentes abaixo. As assinaturas mineralógicas e geoquímicas entre esses regolitos demonstram afinidades evolutivas entre eles. A presença de linhas de pedras formadas por fragmentos provenientes de crostas lateríticas e de veios de quartzo denotam proximidade das áreas fontes e contribuição tanto de crostas como de saprólitos derivados dos metamorfitos. Mostram que esta paisagem holocênica tardia se sucedeu a uma outra de domínio laterítico imaturo, provavelmente pleistocênico. Condições semi-áridas posteriores imputaram-lhe atividades erosivas, com esculpimento e rebaixamento daquela paisagem, com desenvolvimento de morros sustentados pelas crostas e veios, e formação de vales abertos, sob savanas, que no Holoceno Tardio, tornaram-se gradualmente úmidos. Os vales úmidos propiciaram a instalação das veredas sobre solos arenosos o que gradualmente contribuiu para a acumulação de detritos inorgânicos finos provindos por *run off* das encostas desprovidas de floresta e de detritos orgânicos de si própria. As topossequências com solos areno-sílticos na porção superior das vertentes gradando vertente abaixo para simplesmente arenosos e com tendência à formação de hardpan também sugerem crescente umidade, intensificando os processos de lixiviação, iluviação, *run off* e estabelecimento de solos hidromórficos na base das vertentes. Em suma, solos areno-sílticos, espodossolos e os sedimentos silticos a argilosos ricos em matéria orgânica, e a proliferação de *Mauritia flexuosa* e de formações arbóreas de floresta, demonstram claramente a chegada de condições climáticas quentes e úmidas, e o avanço da floresta sobre estes campos, destruindo as formações lateríticas pré-existentes.

Nessa conjuntura climática que perdura até os dias atuais a farta disponibilidade hídrica nos solos favorece continuamente o estabelecimento e rápido desenvolvimento das veredas de *Mauritia flexuosa* ao longo da savana. Estas veredas são relativamente jovens ou contemporâneas, se comparadas, por exemplo, àquelas do cerrado do Brasil Central que foram datadas a partir de 7.000 anos AP (Salgado – Labouriau *et al.* 1997; Ferraz-Vicentini & Salgado – Labouriau 1996), e a outras nos Llanos Orientales na Colômbia cuja expansão se deu a partir de 4.000 anos AP, em decorrência de clima mais úmido e atividades antrópicas (Behling & Hooghiemstra 2000; Berrio *et al.* 2002). As veredas mais antigas registradas no presente trabalho encontram-se envolvidas por floresta (TIA e FC) indicando curta residência em meio a essa paisagem de florestas emergentes, ou seja, em contato com a floresta, estas veredas têm a sua senilidade acelerada pela interação com os elementos arbóreos que se incidem energeticamente sobre o seu habitat. Formam-se, assim, na paisagem, extensos

corredores de florestas (inicialmente ciliares) em substituição às antigas veredas. Uma vez instalados esses caminhos florestais vão se tornando cada vez mais largos, à medida que se prolongam lateralmente a partir dos vales de veredas em direção às encostas do relevo colinoso, albergando áreas cada vez maiores, originando assim, grandes retalhos de floresta em meio à savana remanescente.

Por outro lado, em áreas de relevo plano ou ligeiramente ondulado (RU e FC), nota-se um desenvolvimento de extensas faixas arenosas repletas de suaves depressões (trechos irregularmente abaciados) onde se instalam brejos sazonais com vegetação graminosa e adaptada a condições de hidromorfismo. O caráter areno-quartzoso evidenciado pelos altos teores de SiO₂ destas areias assemelham-se a aqueles averiguados nas extensas planícies arenosas da região lacustre do entorno de Boa Vista onde se sugeriu a ocorrência de um processo de podzolização (Meneses *et al.* 2007). São também ambientes comparáveis em quase todas as suas características às areias podzólicas (espodossolos) de outros locais da região amazônica (Dubroeuq & Volkoff 1998; Horbe *et al.* 2004). Esses autores demonstram com clareza a formação de espodossolos a partir de latossolos. Na área estudada as condições de hidromorfismo, oscilação do lençol freático e escoamento superficial são os principais agentes responsáveis pela lixiviação dos argilominerais e óxi-hidróxidos de ferro do horizonte superficial. A ocorrência destes campos hidromórficos provavelmente pode constituir-se em um fator limitante ao avanço de floresta verificado nas áreas dominadas pelo relevo de anfiteatros cujas encostas ligeiramente mais argilosas e bem drenadas permitem a ocupação por florestas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro através da bolsa de doutorado concedida à primeira autora e de produtividade de pesquisa ao segundo e ainda através do projeto de pesquisa intitulado AGEOPAM (Afinidades Geoquímicas entre Terra Firme, Planície de Inundação Holocênica e Atual na Amazônia) coordenado pelo segundo autor.

Referências

- Absy M. L. 1979. A Palynological Study of Holocene Sediments in the Amazon Basin. Ph.D. thesis, University of Amsterdam, The Netherlands. 112p.
- Behling H. & Hooghiemstra H. 1998. Late Quaternary palaeoecology and palaeoclimatology from pollen records of the savannas of the Llanos Orientales in Colombia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **139**: 251-267.

- Behling H. & Hooghiemstra H. 1999. Environmental history of the Colombian savannas of the Llanos Orientales since the Last Glacial Maximum from lake records El Pinal and Carimagua. *Journal of Palaeolimnology*, **21**: 461-476.
- Behling H. & Hooghiemstra H. 2000. Holocene Amazon rain forest – savanna dynamics and climatic implications: High resolution pollen record Laguna Loma Linda in eastern Colombia. *Journal of Quaternary Sciences*, **15**: 687–695.
- Berrio J.C., Hooghiemstra H., Behling H., Botero P., Van der Borg K. 2002. Late-Quaternary savanna history of the Colombian Llanos Orientales from Lagunas Chenevo and Mozambique: a transect synthesis. *Holocene*, **12**: 35-48.
- Burbridge R.E., Mayle F.E., Killeen T.J. 2004. Fifty-thousand-year vegetation and climate history of Noel Kempff Mercado National Park, Bolivian Amazon. *Quaternary Research*, **61**: 215–230.
- Carneiro Filho A. 1991. Contribution to the study of the Forest-Savanna mosaic in the area of Roraima, northern Amazon basin, Brazil. Geopedologic. approach. Master's Thesis, University of Enschede, The Netherlands. 116p.
- Dubroeuq D. & Volkoff B. 1998. From Oxisols to Spodosols and Histosols: evolution of the soil mantles in the Rio Negro basin (Amazônia). *Catena*, **32**: 245–280.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1997. *Manual de métodos de análise de solos*. 2.ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA. 212 pp.
- Evensen N.M., Hamilton P.J., Onions R.K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **42**: 1199-1212.
- Ferraz-Vicentini K. R. & Salgado-Labouriau M. L. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in central Brazil. *Journal of South American Earth Science*, **9**: 207-219.
- Freitas H. A., Pessenda L.C.R., Aravena R., Gouveia S.E.M., De Souza Ribeiro A., Boulet R. 2001. Late Quaternary vegetation dynamics in the southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter. *Quaternary Research*, **55**: 39–46.
- Gouveia S.E.M., Pessenda L.C.R., Aravena R., Boulet R., Roveratti R., Gomes B.M. 1997. Dinâmica de vegetações durante o Quaternário recente no sul do Amazonas indicada pelos isótopos do carbono (^{12}C , ^{13}C e ^{14}C). *Geochimica Brasiliensis*, **11**: 355-367.
- Haffer J. 1969. Speciation in Amazonian forest birds. *Science*, **165**: 131-137.
- Horbe A.M.C. & Costa M.L. 1997. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílicoferruginosas. *Acta Amazonica*, **27**: 241-256.
- Horbe A.M.C. & Costa M.L. 1999. Relações genéticas entre latossolos e crostas lateríticas aluminosas e aluminoferruginosas na região de Paragominas - Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**: 477-504.

- Horbe A.M.C. & Costa M. L. 2005. Lateritic crusts and related soils in eastern Brazilian Amazonia. *Geoderma*, **126**: 225-239.
- Horbe A.M.C., Horbe M.A., Suguio K. 2004. Tropical Spodosols in northeastern Amazonas State, Brasil. *Geoderma*, **119**: 55-68.
- Mayle F.E., Burbridge R.E., Killeen T.J. 2000. Millennial-scale dynamics of southern Amazonian rain forests. *Science*, **290**: 2291–2294.
- Meneses M. E. N. S., Costa M. L., Behling H. (Submetido). Late Holocene vegetation and fire dynamics from a savanna - forest ecotone area inferred from *Mauritia flexuosa* palm swamps (veredas) records in Roraima state, northern Brazilian Amazon region. Review of Palaeobotany and Palynology.
- Meneses M. E. N. S., Costa M. L., Costa J. A. V. 2007. Os lagos do lavrado de Boa Vista - Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**: 478-489.
- Miranda I.S. & Absy M.L. 1997. A flora fanerogâmica das savanas de Roraima. In: Barbosa, R.I., Ferreira, E.J.G., Castellón, E.G (Eds). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*, INPA, Manaus, AM, Brasil, p.: 445–462.
- Montalvão R. M. G. & Pitthan J. H. L. 1974. Grupo Cauarane. In: Projeto RADAMBRASIL, Relatório interno 21-G, Belém, 7 p.
- Nimer E. 1991. Clima. In: *Geografia do Brasil: Região Norte*. IBGE, Rio de Janeiro, p.: 61–71.
- Pessenda L.C.R., Gomes B.M., Aravena R., Ribeiro A.S., Boulet R., Gouveia S.E.M. 1998. The carbon isotope record in soils along a forest-cerrado ecosystem transect: implication for vegetation changes in Rondônia State, southwestern Brazilian Amazon region. *The Holocene*, **8**: 631-635.
- Prance G.T. 1981. “Discussion”. In: Nelson G. & Rosen D.E. (eds.): *Vicariance Biogeography: A Critique*. Nova York: Columbia Univ. Press, p.: 395-405.
- Price J. R & Velbel M. A. 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chemical Geology*, **202**: 397– 416
- Salgado-Labouriau M.L., Casseti V., Ferraz-Vicentini K.R., Martin L., Soubiés F., Suguio K., Turq B. 1997. Late Quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from Central Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **128**: 215-226.
- Sarmiento G. & Monasterio M. 1975. A critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystems in tropical America. In: Golley, F.B & Medina, E. (Eds). *Tropical Ecological Systems, trends in Terrestrial and Aquatic Research*. Springer-Verlag, Berlin. p.: 223–250.

- Schaefer C.E.G.R. 1994. Quaternary paleosols of the Cotingo catchment, Roraima, Amazonia: Paleoweathering and paleoclimate. *In: Proc. 14th Int. Sedimentological Congress, Recife (S)*, p.: 16- 18.
- Schaefer C. E. R. & Dalrymple J. 1996. Pedogenesis and relict properties of soils with columnar structure from Roraima, north Amazonia. *Geoderma*, **71**: 1-17.
- Shepard F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt clay ratio. *J. Sediment Petrology*, **24**: 151-158.
- Sette Silva E.L. 1993. Inventário preliminar das espécies arbóreas das florestas dos arredores de Boa Vista (Roraima) – Uma abordagem fitossociológica. Dissertação de Mestrado. INPA, Universidade do Amazonas. 198 p.
- Simões Filho F.F.L. 2000. Sedimentação lacustre e implicações paleoambientais na região de contato floresta-savana de Roraima durante o Holoceno. Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 213 p.
- Stuiver M. & Reimer P.J. 1993. Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, **35**: 215–230
- Suguio K. 2003. *Geologia Sedimentar*. São Paulo: Edgard Blücher, 400 pp.
- Tardy . 1993. *Pétrologie des latérites et des sols tropicaux*. In: Masson (ed.), 459 pp.
- Taylor S.R. & McLennan S.M. 1985. *The continental crust its composition and evolution*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 312 pp.
- Vanzolini P.E. & Carvalho C.M. 1991. Two sibling and sympatric species of *Gymnophthalmus* in Roraima, Brazil (Sauria Teiidae). *Papéis Avulsos de Zoologia*, **37**: 173–226.
- Wedepohl K. H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59**: 1217-1232.

5 LATE HOLOCENE VEGETATION AND FIRE DYNAMICS FROM A SAVANNA - FOREST ECOTONE AREA INFERRED FROM *MAURITIA FLEXUOSA* PALM SWAMPS (VEREDAS) RECORDS IN RORAIMA STATE, NORTHERN BRAZILIAN AMAZON REGION (Submetido ao periódico Review of Palaeobotany and Palynology)

Maria Ecilene Nunes da Silva Meneses^a, Marcondes Lima da Costa^a, Hermann Behling^b

^a Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa, 01, Belém, PA, 66075-110, Brazil

^b Department of Palynology and Climate Dynamics, Albrecht-von-Haller-Institute for Plant Sciences, University of Göttingen, Untere Karspüle 2, 37073 Göttingen, Germany

Corresponding author. Tel.: 55 91 3072 0577; fax: 55 91 3201 7478. E-mail address: mariaecilene@yahoo.com.br (Maria Ecilene Nunes da Silva Meneses).

Abstract

We present a detailed pollen and charcoal record of two *Mauritia flexuosa* palm swamp sediment cores from a savanna – forest mosaic area in the northern Roraima state, northern Brazilian Amazon region. Based on 5 radiocarbon dates, the records represent the last about 1550 cal yr BP. The maximum extent of forest cover at around 1550 cal yr BP indicates wetter climatic conditions favorable to forest expansion, mostly by gallery forests. Between 1400 and 1000 cal yr BP the forest retreat while the savanna cover became dominant driven by a matched natural and anthropogenic higher fire frequency. Despite the fire occurrence, the *Mauritia flexuosa* palm swamps expanded and continued to establish in the landscape, reflecting sufficient soil moisture. After this period the forest expanded. However, the frequency of fire oscillations with marked increase between 1400 -1000 cal yr BP and 700 - 300 cal yr BP affected these forest areas. The relatively lower fire frequency during the following period of 300 cal yr BP until recent times favored the increase of forested area in the region. The arrival of the European settler and the subsequently introduction of cattle, instead of dense indigenous people occupation, is thought being the reason for the decrease of fire.

Key-words: Savanna-forest ecotone; pollen analysis; fire frequency; climatic conditions; Late Holocene; Roraima state - Brazil

1. Introduction

Several savanna-forest patches found across the Amazon region are widely represented in the northern and northeastern portions of Roraima state located in the most northern part of the Brazilian Amazon basin. This savanna area covers about 41.000 km² in Roraima and extends to the Guyana territory, forming the so-called Rio Branco-Rupununi complex regarded one of the largest continuous block throughout the northern South America (Sarmiento and Monasterio, 1975). This complex is known as “lavrado” among the Roraima inhabitants whose meaning is “place where the trees are absent” (Vanzolini and Carvalho, 1991).

During the last decades several studies tried to explain the presence of savanna vegetation within the Amazon rainforest domains (e.g., Haffer, 1969; Whitemore and Prance, 1987; Van der Hammen and Absy, 1994; Behling and Hooghiemstra, 2001). According to them, these savanna areas are remains of dry climates during Pleistocene and Holocene periods when these formations occupied larger areas throughout tropical South America. However such purpose is still debated (Colinvaux et al., 1996 and 2000; Haberle and Maslin, 1999; Bush et al., 2002).

Recent studies carried out in other savanna regions such as Llanos Orientales in Colombia indicate dry climatic conditions during Early to Mid Holocene while Late Holocene had moister climatic conditions which favored the expansion of forests onwards savanna areas (Behling and Hooghiemstra, 1998, 1999 and 2000; Berrio et al., 2000). The substantial increase of mainly *Mauritia* palms since about 4000 cal yr BP verified in Laguna Loma Linda (Behling and Hooghiemstra, 2000), Laguna Las Margaritas (Wille et al., 2003) and in many other studied sites in the Llanos Orientales (Berrio et al., 2002) is interpreted as an indication of wetter conditions and increased human activity by use of fire (Behling and Hooghiemstra, 2000).

The modern *Mauritia flexuosa* palm swamps (known by regional term of *veredas*, when in corridor way) found across the savanna from central part of Brazil are present in that landscape since about 7000 ¹⁴C yr BP in Aguas Emendadas (Salgado-Labouriau et al., 1998) and since 6500 ¹⁴C yr BP in the Crominia region (Ferraz-Vicentini and Salgado-Labouriau, 1996). From this period until now *Mauritia* palm swamps, as well as gallery forests started to expand, suggesting an increase in moisture.

In the Roraima savanna region, besides the contrasting vegetation cover, different geomorphic features such as dune fields, lateritic cover and soils profiles crosscut by stone lines, whose origin is not totally clear, can be found (Carneiro Filho, 1991). This modern

landscape disagrees with current wet climate situation at least locally. Despite the diverse scenery only few palaeoenvironmental records are available from this part of the Amazon region (Absy, 1979; Desjardins et al., 1996; Schaefer and Dalrymple, 1996, Simões Filho, 2000). Most of these previous investigations do not include palynological data and is concentrated next to Boa Vista city or in the northeastern portion of the savanna region e.g. the most studied place lake Caracaranã (Simões Filho, 2000).

Here we present the results of two cores from the savanna – forest ecotone area in Roraima state where inumerous *Mauritia flexuosa* palm swamps describing a corridor (veredas), occur. Our main objective is the reconstruction of the environmental history including vegetation, fire and climate dynamics in order to identify causes of past ecosystem changes and human impact. We want to answer the following questions: (1) is the forest expanding into savanna areas In case, how and when this expansion started (2) What is the role of the fire Was it natural or human-induced (3) Is the savanna - forest mosaic natural or caused by humans

2. Environmental setting

The study area is located in the northern area of the state of Roraima, in the northernmost portion of the Brazilian Amazon, about 152 km from the city of Boa Vista, capital of the State, in the Amajari city neighborhoods, approximately between the coordinates 3° 27' 00'' - 3° 42' 00''N and 61° 18'00'' – 61° 34' 5'' W (Fig. 1).

The climate of the area is wet tropical Awi according to Köppen classification. The annual mean precipitation in the study area is about 1500 mm. The seasonal regime of precipitation defines two seasons, a dry season (between October and March) and and a wet season (between April and September). The annual mean temperature is 27 °C (Nimer, 1991).

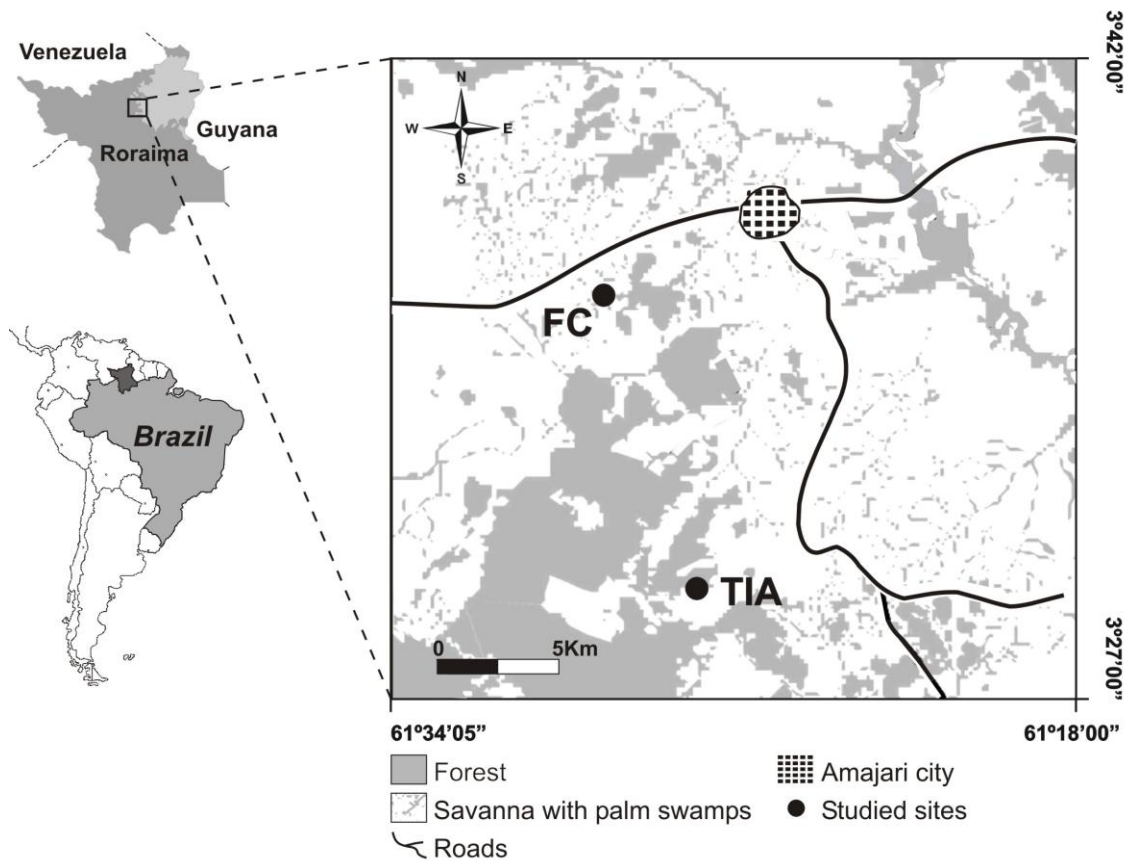


Fig. 1. Map showing the studied sites from the savanna – forest ecotone area in Roraima state, situated in the northernmost portion of Amazon region in the Brazil. FC – Fazenda Cigana; TIA – Terra Indígena Aningal.

The savannas vegetation varies from grasslands on low-altitude relief (80-120 m a.s.l) to open woodlands at higher altitudes (120 - 200 m a.s.l). The herbaceous stratum is dominated by grasses (mainly Poaceae and Cyperaceae), scattered with shrubs and small twisted trees with thick barks and leaves. The most common species in the shrubby or arboreal stratum are *Curatella americana* (Dilleniaceae) and *Byrsonima crassifolia* (Malpighiaceae) (Miranda and Absy, 1997). The savanna vegetation is often interrupted by small islands of forest and gallery forest corridors. In the valleys it is common to find marshes and palm swamps dominated by *Mauritia flexuosa* forming the so-called vereda systems like those well-known from the Brazilian central region (Fig. 2).

The two palm swamps cores selected for this study, lie relatively close (some 15 km distance) together. The first core site is located close to the Terra Indígena Aningal (TIA) region. The TIA palm swamp is today completely surrounded by a forest island likewise several other present in the region. This forest island includes taxa of gallery forest at both edges of the palm swamp mixed with other trees, lianas and a great number of palms

especially *Attalea maripa*, *Astrocaryum vulgare* e *Pyrenoglyphis maruja* widespread throughout the forested area. The surrounding savanna area displays an arboreal stratum dominated by *Curatella americana*, *Byrsonima crassifolia*, *Xylopia aromática* (Annonaceae) and *Bowdichia virgilioides* (Fabaceae). The palm swamp as well as the forest island are situated into a aplain valley (125 m a.s.l.) of an undulating relief (Fig. 3a).

The second core is located at Fazenda Cigana (FC) domains. swamp belongs to 60 m wide zone of associated *Mauritia flexuosa* palms, gallery forest trees and shrubs completely surrounded by grass savanna. It is located in a depression on a low plain at 120 m about sea level (a.s.l.). Nowadays, a narrow and shallow channel occurs into the depression centre. During the rainy season this channel works as a small river (*igarapé*) but in the dry period, the level of the water table decrease significantly and only wet soils occur. The adjacent soils vary from white sand to yellow oxisols (Fig. 3b). Both core sites areas can be seen as small accumulation basins alimeted with silty and sandy material coming from adjacent areas and local produced organic material.

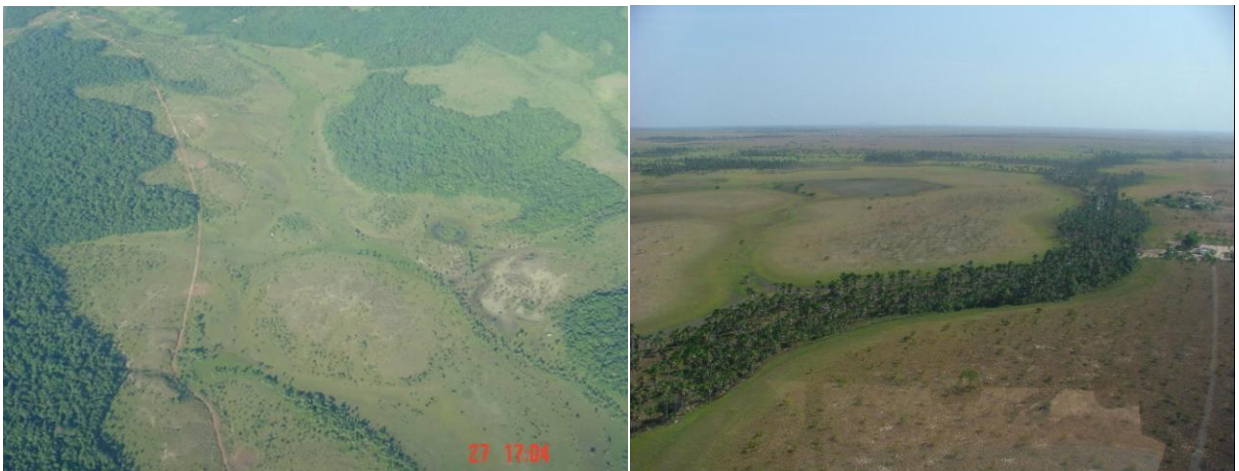


Fig. 2. Partial view of the savanna – forest ecotonal area in the studied region and corridors of *Mauritia flexuosa* palm swamp (veredas) crossing the savanna areas.

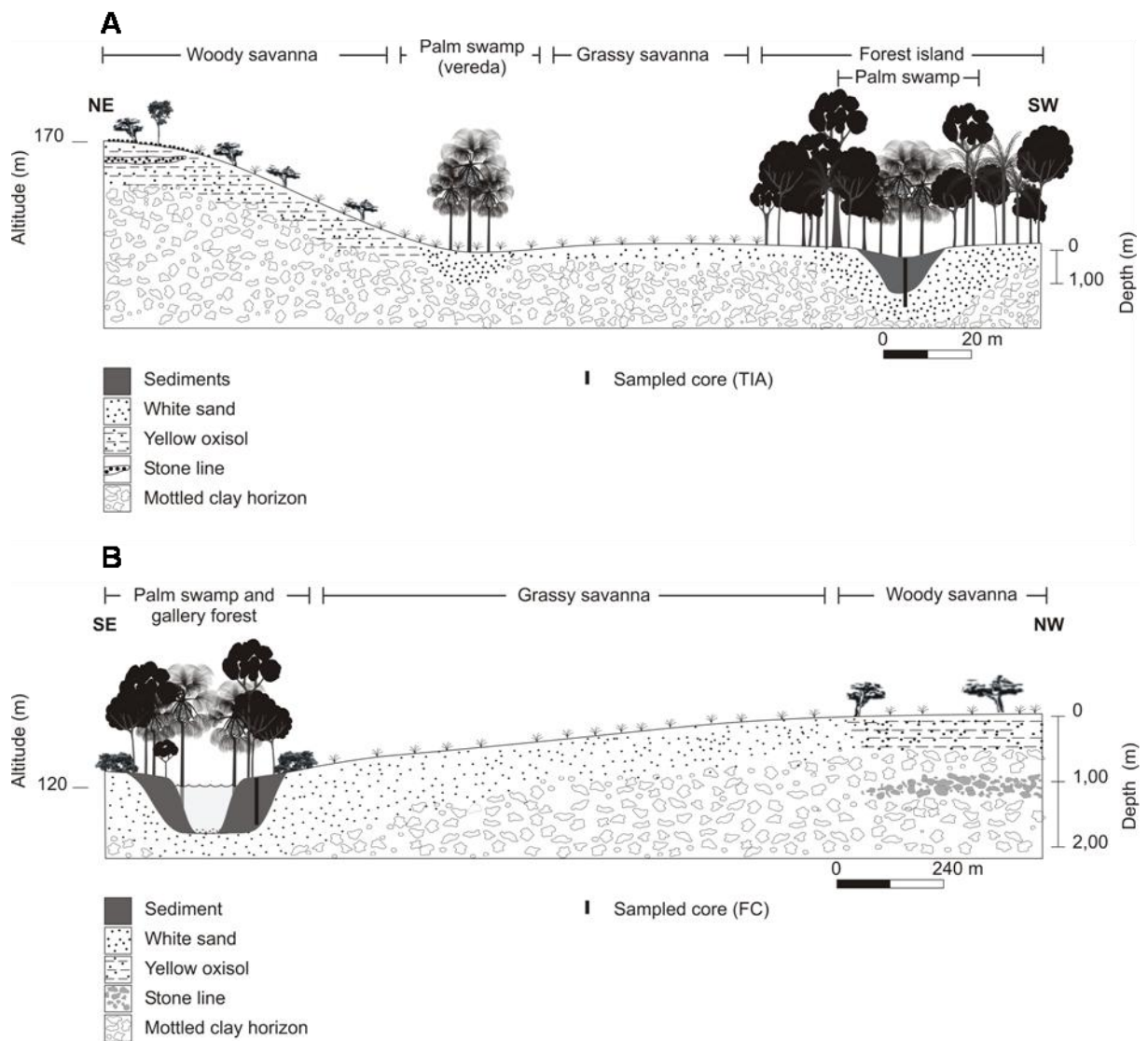


Fig. 3. Schematic profiles showing the vegetation and regoliths (dark fine organic sediment; white sand, yellow oxisol, stone line and mottled clay horizon) distribution in the Terra Indígena Aningal (TIA) core site (A) and in the Fazenda Cigana (FC) core site (B).

3. Material and methods

The two palm swamp cores (Fig 3a and 3b) were taken with a Russian corer and stored under dark and cold (4 °C) conditions. For (AMS) radiocarbon dating, 5 sediments subsamples were analyzed at the University of Erlangen-Nürnberg and Beta Analytical Laboratory. The ^{14}C dates were calibrated using Calib 6.0 (Stuiver and Reimer, 1993) in order to calculate calendar ages.

For palynological analysis the TIA core was sampled at 2.5 cm intervals and FC core at 5 cm intervals along the core. All samples were processed using standard pollen analytical methods (Faegri and Iversen, 1989). For calculations of concentration and influx *Lycopodium* spores were added as exotic marker. Due to the over-representation of *Mauritia flexuosa* taxa,

a minimum of 500 pollen grains was counted for each sample. The pollen sum includes pollen of trees, shrubs and herbs and excludes spores of pteridophyta which were calculated as percentages relative to the pollen sum. Identification of pollen and spores is based on Roubik and Moreno (1991), and the reference collections of the third author kept at the Department of Palynology and Climate Dynamics, University of Göttingen, containing approximately 3000 neotropical taxa.

Identified pollen and spores were classified in ecological groups regarding the vegetation information by Marchant et al. (2002); floristic inventory from Roraima savanna region (Miranda and Absy, 1997, 2000), and also by observations during the fieldwork. Thus, taxa were grouped into Vereda or Palm swamp, Grassy savanna, Woody savanna, Forest, Palms, Others and Pteridophyta categories. TILIA, TILIAGRAPH and CONISS were used for data calculation, illustration and cluster analysis (Grimm, 1987). In addition, charcoal particles (5–150 μm) were counted on pollen slides and presented as charcoal concentration (particles/ cm^3) and influx (particles/ cm^2/yr).

4. Results

4.1 Stratigraphy

The lowest section (150-75 cm) of the 150 cm long TIA sediment core consists of very coarse sand layer, showing alternation of green to yellow colors and orange layers. From 75 to 55 cm core depth, the sediment is dark grey fine sand. From the interval 55 to 30 cm established dark grey silty clay. The uppermost part (30-0 cm) is represented by a layer of black silty clay rich in macro plant debris such as leaves and roots. The 150-cm long sediment core from FC site consists of a layer of black fine sand (150–120 cm), changing to layers of light brown sandy silt with yellowish layers (120–80 cm), dark brown sandy silt (80–27 cm) and dark grey silty clay (27–0 cm). Macro remains such as leaves, roots and other plant debris are observed at the uppermost and lowermost parts of the core. The detailed description of the both cores TIA and FC is given in Table 1.

Table 1 Stratigraphic description of the Terra Indigena Aningal (TIA) and Fazenda Cigana (FC) cores

Core	Depth (cm)	Stratigraphy
TIA	0 - 30	Black silty clay rich in macro plant debris
	30 - 55	Dark grey silty clay
	55 - 75	Dark grey fine sand
	75 - 150	Coarse sand whose colors vary from green to yellow with orange layers
FC	0-27	Dark grey silty clay rich in macro plant debris
	27 - 80	Dark brown sandy silt
	80 -120	Light brown sandy silt showing yellow layers
	120 -150	Black fine sand rich in macro plant debris

4.2 Chronology

Five AMS radiocarbon dates (Table 2) provide the chronological control for the two savanna-forest ecotone pollen records and indicate deposits of Late Holocene age. The bottom of the TIA core has an age of 1346 ± 40 ¹⁴C yr BP (1200 cal yr BP). The FC core is somewhat older and started the deposition at 1718 ± 40 ¹⁴C yr BP (1550 cal yr BP). The table 2 shows the dates for the both cores including calibrated ages in years BP.

Table 2 AMS-radiocarbon dates and calibrated ages of the two palm swamp cores from savanna-forest ecotone area.

Laboratory Code	Samples	Depth (cm)	Radiocarbon age (¹⁴C)	Calibrated ages in years BP*	Average
Beta 269799	TIA	38-40	860 ± 40	670 - 790	730
Erl 12841	TIA	73-75	1346 ± 46	1120 - 1300	1200
Erl 12839	FC	30-32	360 ± 45	310 - 490	400
Beta 269800	FC	78-80	1200 ± 40	970 - 1170	1070
Erl 12842	FC	148-150	1718 ± 40	1420 - 1690	1550

4.3 Description of the Terra Indigena Aningal (TIA) core pollen diagram

The pollen diagram displays the most frequent pollen and spore taxa of the 81 different types recognized (Figs. 4 and 5). About 6 pollen types remain unknown. According to major changes in pollen assemblages and the CONISS analysis, four pollen zones were established in TIA core. Samples below 75 cm core depth were sterile and for this reason are not shown in the diagrams. Therefore, a total of 31 samples could be analyzed.

Zone TIA-I (75–60 cm, ca. 1200–1000 cal yr BP, 7 subsamples) shows high values of *vereda* taxa represented only by *Mauritia flexuosa* pollen (29-46 %) and grassy savanna pollen taxa, represented by Poaceae (24-35 %) and Cyperaceae (4 -11 %). Other savanna pollen taxa such as *Spermacoce*, *Tibouchina*, Pol galaceae, *Cuphea* and *Hyptis* are frequent but with lower values. Pollen of the savanna trees *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia* are almost absent in this zone. Pollen taxa of forest are poorly represented by Melastomataceae (0-4 %) and *Cecropia* (2 %), showing a slight increase to the top of the zone. Spores of pteridophyta also increase from 5 to 16 % in this zone. Pollen concentration (14,000 – 21,000 grains/cm³) and pollen influx (1100 - 1550 grains/cm²/yr) are low. Charcoal concentration (283,000 – 568,000 particles/cm³) is high during this period and charcoal influx (21,000–42,600 particles/cm²/yr) is relatively low.

Zone TIA-II (60–40 cm, ca. 1000–700 cal yr BP, 9 subsamples) is characterized by a strong increase of forest pollen taxa, such as *Virola* (3–14 %), Melastomataceae (3–7 %), *Alchornea* (2–5 %), Moraceae/Urticaceae (2–6 %), *Acalypha* (1–4 %), Myrtaceae (1–5 %) and Sapindaceae (1–3 %) among others. Poaceae pollen decrease from 24 to 6 %. Pollen of Cyperaceae also show lower values (2–5 %) in this zone. *Mauritia flexuosa* decreases from 38 to 26 %. Pteridophyta spores (11–26 %) show high amounts in the lowermost part of this zone which decrease to the upper part. Pollen concentration (18,000 – 39, 000 grains/ cm³) is higher than in previous zone as well as pollen influx (1,300–2,900 grains/cm²/yr). Charcoal concentration rise from low values to highest values (148,000 - 1,3 million particles/ cm³) in the upper part of the zone and charcoal influx (11,000-99,800 particles/cm²/yr) reach the highest values at the top of this zone.

Zone TIA-III (40–15 cm, ca. 700–250 cal yr BP, 9 subsamples) is marked by decreasing amounts of forest pollen taxa due to low values of Melastomataceae (1–9 %), Moraceae/Urticaceae (1–4 %), *Cecropia* (0–3 %) and *Alchornea* (0–2 %). The pollen of palms group excluding *Mauritia flexuosa* increases in the upper part of the zone, especially due to pollen of *Attalea* (0–3 %). Pollen of *Mauritia flexuosa* (37–51 %) show continuous increase as well as pollen of the grassy-savanna represented by Poaceae (18–25 %), Cyperaceae (5–10 %)

and in minor proportions by *Spermacoce*, *Hyptis*, *Cuphea* and *Helicteres*. Woody-savanna pollen represented *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia* are frequent in low values (3). Pteridophyta spores (6–9) show stable amounts, slightly lower than in the previous zone.

Pollen concentration (25,700–35,000 grains/cm³) is slightly lower and pollen influx (1270–1900 grains/cm²/yr) is low. Charcoal concentration (450,000 –1,1 million particles/cm³) is higher than in the previous zone with decreasing values to upper part of the zone and charcoal influx (22,000–61,000 particles/cm²/yr) is high.

Zone TIA-IV (17–0 cm, ca. 250 cal yr BP to modern times, 7 subsamples) is characterised by a strong increase of forest taxa pollen, represented mainly by high values of Melastomataceae (6–18) at 12 cm core depth. *Virola* (2–6), Moraceae/Urticaceae (3–7), *Alchornea* (1–5), Malpighiaceae (0–5), *Protium* (2–3), Myrtaceae (2–4), Sapindaceae (1–4), *Cecropia* (2–3) and Rubiaceae (1–3) show highest amounts among forest taxa mainly in the upper part of the zone. *Didymopanax* pollen is very common (2–6) with relatively high values. Pollen of *Mauritia flexuosa* decrease from 33 to 14 . Pollen of Poaceae (1-14) and Cyperaceae (0–4) also decrease as well as another grassy-savanna taxa. Pollen of *Attalea* and other Arecaceae (all 5– 13) reach the highest representation in this zone. Pollen of *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia* (all 0–4) are frequent in the lowermost part of the zone and rare in the upper part. Spores of pteridophyta increase (9–15) in this zone.

Pollen concentration (34,000–40,000 grains/cm³) is relatively high and stable showing an increasing tendency to upper part. Pollen influx (1700–2000 grains/cm²/yr) also increase in this zone. Charcoal concentration (370,000-540,000 particles/cm³) is the lowest during this period and charcoal influx (18,000-26,000 particles/cm²/yr) is lower than in the previous zone.

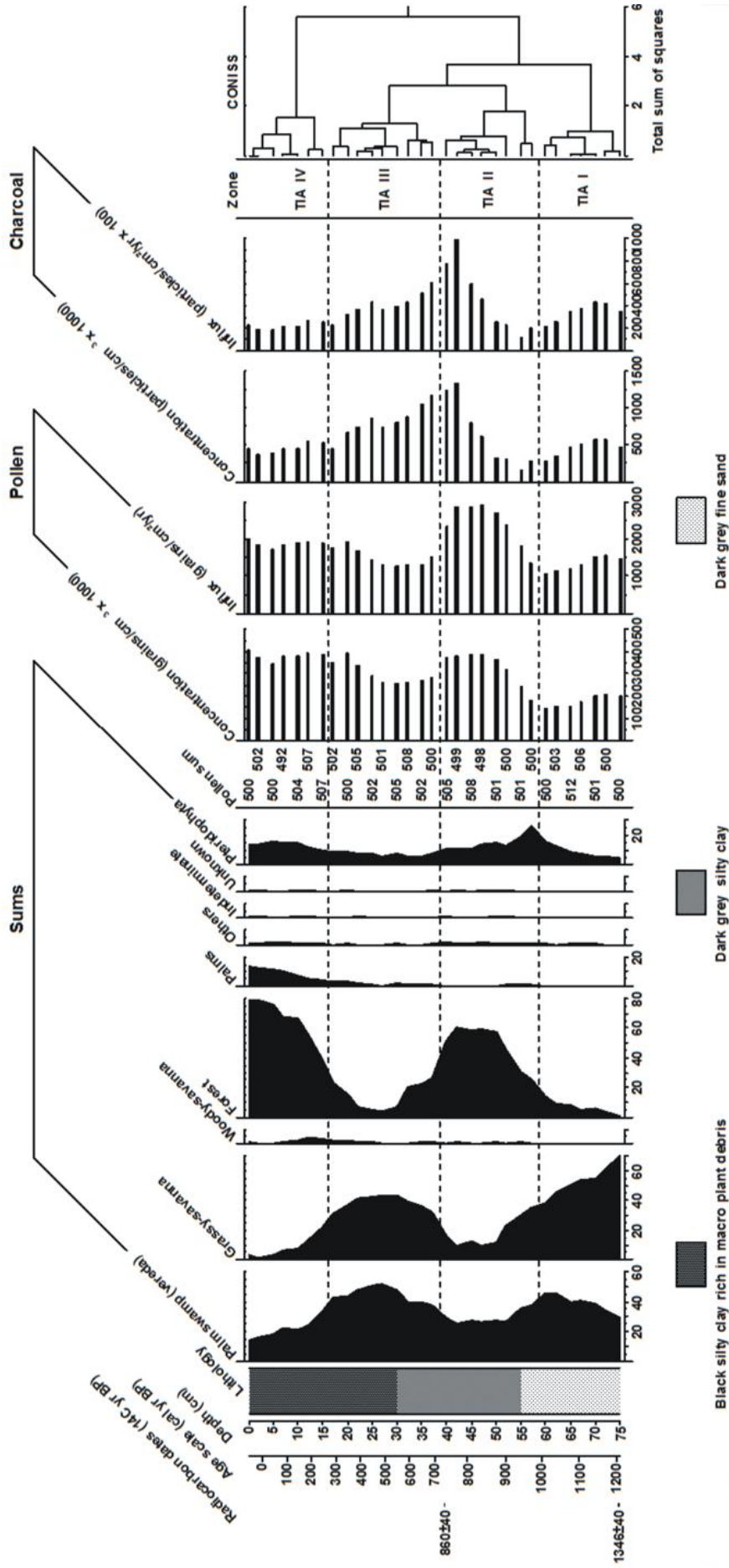


Fig. 5. Summary pollen percentage diagram of the core Terra Indigena Aningal (TIA) with the AMS radiocarbon dates, age scale, lithology, sums of vegetation groups, pollen and charcoal concentration as well as pollen and charcoal influx and pollen zones.

4.4 Description of the Fazenda Cigana (FC) core pollen diagram

The most abundant taxa out a total of 105 pollen and 9 spores are shown in a detailed percentage diagram (Fig. 6). The summary diagram illustrates the ecological groups, the pollen sum, the pollen concentration and influx, and the charcoal concentration and influx (Fig. 7). Five zones are distinguished by cluster analysis (FC-I to V). The number of samples analyzed is 31. The unknown pollen types vary between 1 and 4 being greater at the bottom of the core.

Zone FC-I (150–130 cm, ca. 1550–1400 cal yr BP, 5 subsamples) is characterised by high proportions of pollen from forest taxa with the highest values around 60 decreasing gradually afterwards to reach the lowest value of 20 in the upper part of the zone. The most representative taxa of this group are *Alchornea* (2-7%), Melastomataceae (2-5%), *Virola* (2-6%), Moraceae/Urticaceae (0-4%), Sapindaceae (1-3%), Myrtaceae (1-2%) and Malpighiaceae (1-3%), among several others. Grassy-savanna taxa rise from low values of 15 at the beginning of the zone to 40 at the top reflected by increasing number of Poaceae pollen (8-25%) and Cyperaceae pollen (2-6%). *Spermacoce*, *Helicteres*, *Cuphea* and *Hyptis* are frequent during this period in low values (2% each one). *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia* pollen are present (2%). *Mauritia flexuosa* pollen (13-38%) starts in low values and afterwards reaches higher values at the end of the zone. Other palms like *Attalea maripa* (1%) occur in low representation. Spores of pteridophyta (17-20%) show high values primarily due to trilete psilate (8-12%) and monolete psilate spores (5-6%). Other spores are rare (1-2%).

Pollen concentration (31,000 – 69,000) is high in the lowermost part of the zone but show decreasing values to the top. Pollen influx (1000–4000 grains/cm²/yr) is high and decrease towards to top of the zone. Charcoal concentration (718,000-2 million particles/cm³) is low at the initial samples and very high at the two last samples in the upper zone. Charcoal influx values are increasing to the top of the zone .

Zone FC-II (130–90 cm, ca. 1400–1150 cal yr BP, 8 subsamples) is characterized by high pollen frequency (42–48%) of *Mauritia flexuosa* as well as grassy-savanna taxa (46-53%), primarily Poaceae (30-44%) and secondly Cyperaceae (2–6%). Other grassy-savanna taxa such as *Spermacoce* (2%), *Cuphea* (1-3%), *Hyptis* (1-2%) and *Helicteres* (1%) have low representations. Pollen of forest taxa is strongly decreasing until the minimum value of 1% or lower, but showing a slight increase (5%) at the top of the zone. The low amounts of all forest pollen types mostly *Alchornea*, Melastomataceae, *Virola*, Moraceae/Urticaceae, *Protium* and

Sapindaceae are the reason for the decrease of this group. Woody-savanna pollen taxa are nearly absent in this zone such as palm taxa.

Spores of pteridophyta reach 15% in the lowermost sample, decreasing to 8-9% in the following samples. Monolete psilate (3-6%) and trilete psilate (6-8%) continue being the most important taxa of the group. Pollen concentration (14,000-29,700 grains/cm³) is lower than in previous zone and also the pollen influx (2000-4400 grains/cm²/yr). Charcoal concentration (830,000 - 1,9 million particles/cm³) is very high with some variations through this whole period. Charcoal influx (124,000-284,500 particles/cm²/yr) is also high.

Zone FC-III (90-70 cm, ca. 1150-950 cal yr BP, 4 subsamples) shows that the frequency of *Mauritia flexuosa* pollen (37-39%) continue high as recorded in previous zone but with values slightly lower. The same is found for grassy savanna taxa whose percentages are between 49 and 52% dominated essentially by pollen of Poaceae (35-39%) and Cyperaceae (3-4%) in a very low representation. The isolated frequencies of *Spermacoce*, *Cuphea*, *Hyptis* and *Helicteres* pollen are low, each one does not reach 3%. An increase of forest taxa from 8 to 14% in this zone is indicated by the increase of *Alchornea* (1-2%), Melastomataceae (1-3%), *Virola* (1-2%), and *Cecropia* (1-2%) and by other forest taxa which appear in minor proportions. The values of pteridophyta spores (7-12%) are still low in this zone and trilete psilate (4-6%) and monolete psilate spores (3-4%) are the most important taxa.

Pollen concentration (15,000-16,000 grains/cm³) and pollen influx (1000-2300 grains/cm²/yr) are low. Charcoal concentration (440,000 - 911,000 particles/cm³) is low and charcoal influx (42,700-63,800 particles/cm²/yr) is lower than those recorded in the previous zone.

Zone FC-IV (70-20 cm, ca. 950-200 cal yr BP, 10 subsamples) is marked by high and stable values of *Mauritia flexuosa* pollen (33-42%) along the entire zone. Grassy-savanna taxa (43-54%) also show high values in the most part of the zone but are decreasing in the uppermost part. This high representation is primarily attributed to Poaceae pollen (23-41%) and increasing values of Cyperaceae pollen (3-7%). *Spermacoce* and *Hyptis* pollen remain at same levels following the previous frequency patterns. On the other hand occurs an increase of *Cuphea* (1-6%) and *Helicteres* pollen (0-4%). Forest taxa start at 12%, decrease to minimum value of 2% at 55 cm core depth but recover to maximum value of 20% due to oscillations of Melastomataceae (0-5%) mainly in the uppermost depth intervals. *Cecropia* (0-3%), *Alchornea* (0-2%) and *Virola* (0-1%) contribute to the increase of forest pollen in this zone. An increase occurs for palm group taxa from 1% to 5%, mainly because of higher

values of *Attalea maripa* pollen (0-3). Pteridophyta spores vary between 12 and 22 . Besides the trilete psilate (3-9) and monolete psilate (3-6) spores, high values of *Lycopodium cernuum* spores (2-5) are noticeable.

Pollen concentration (10,900–28,300 grains/cm³) is higher. However, pollen influx (760–1900 grains/cm²/yr) is very low. Charcoal concentration (570,000 – 941,000 particles/cm³) show marked fluctuation with anomalous higher values (1,3 –1,6 million particles/cm³) at 25 and 20 cm core depth. Charcoal influx (111,430–39,700 particles/cm²/yr) is high with highest values at the top of the zone.

Zone FC–V (20–0 cm, ca. 200 cal yr BP to recent times, 4 subsamples) The proportions of *Mauritia flexuosa* pollen (26–33) are slightly lower than in the prior zone. Poaceae pollen (12–22) decrease at the top of the core, while Cyperaceae pollen (3-5) remain stable. Pollen of the grassy-savanna group correspond to values between 29 and 39 . *Spermacoce* and *Hypitys* pollen occur at levels lower than 2 . *Helicteres* and *Cuphea* pollen values continue between 2 and 5 . Pollen of *Curatella americana* coupled with *Byrsonima crassifolia* give to the woody-savanna values around 2-3 .

Forest taxa increase markedly from 23 to the highest value of 35 at the top of the core, primarily due to higher pollen frequencies of Melastomataceae (4-5), *Virola* (2-3), Bignoniaceae (1-3) and *Alchornea* (1-3). *Protium*, *Cecropia*, Moraceae/Urticaceae, Sapindaceae, Malpighiaceae, *Didymopanax* and *Dioclea* occur at levels between 1 and 2 each one. Palm taxa (1-3) are represented by *Attalea* pollen in low amounts (1-2). Spores of pteridophyta vary from 21 to 23 . *Lycopodium cernuum* continue with high values (2-3), however, trilete psilate (3-9) and monolete psilate (3-6) are the principal taxa.

Pollen concentration (20,600–41,600 grains/cm³) and pollen influx (1450–2900 grains/cm²/yr) are higher than in the previous zone. Charcoal concentration (420,000 – 790,000 particles/cm³) and charcoal influx (29,440–55,320 particles/cm²/yr) are lower during this zone.

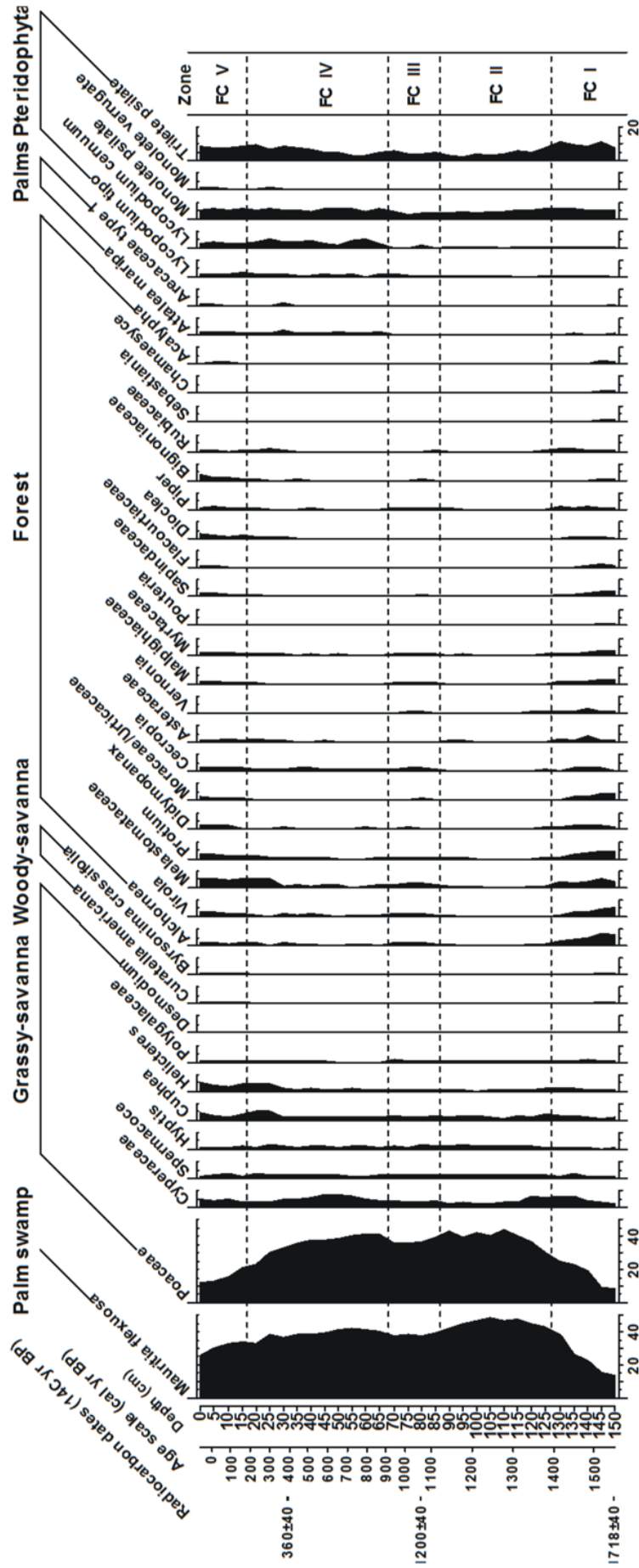


Fig. 6. Detailed pollen percentage diagram of core Fazenda Cigana (FC). The most important taxa are presented and grouped into Vereda, Grassy savanna, Woody savanna, Forest, Palms and Pteridophyta.

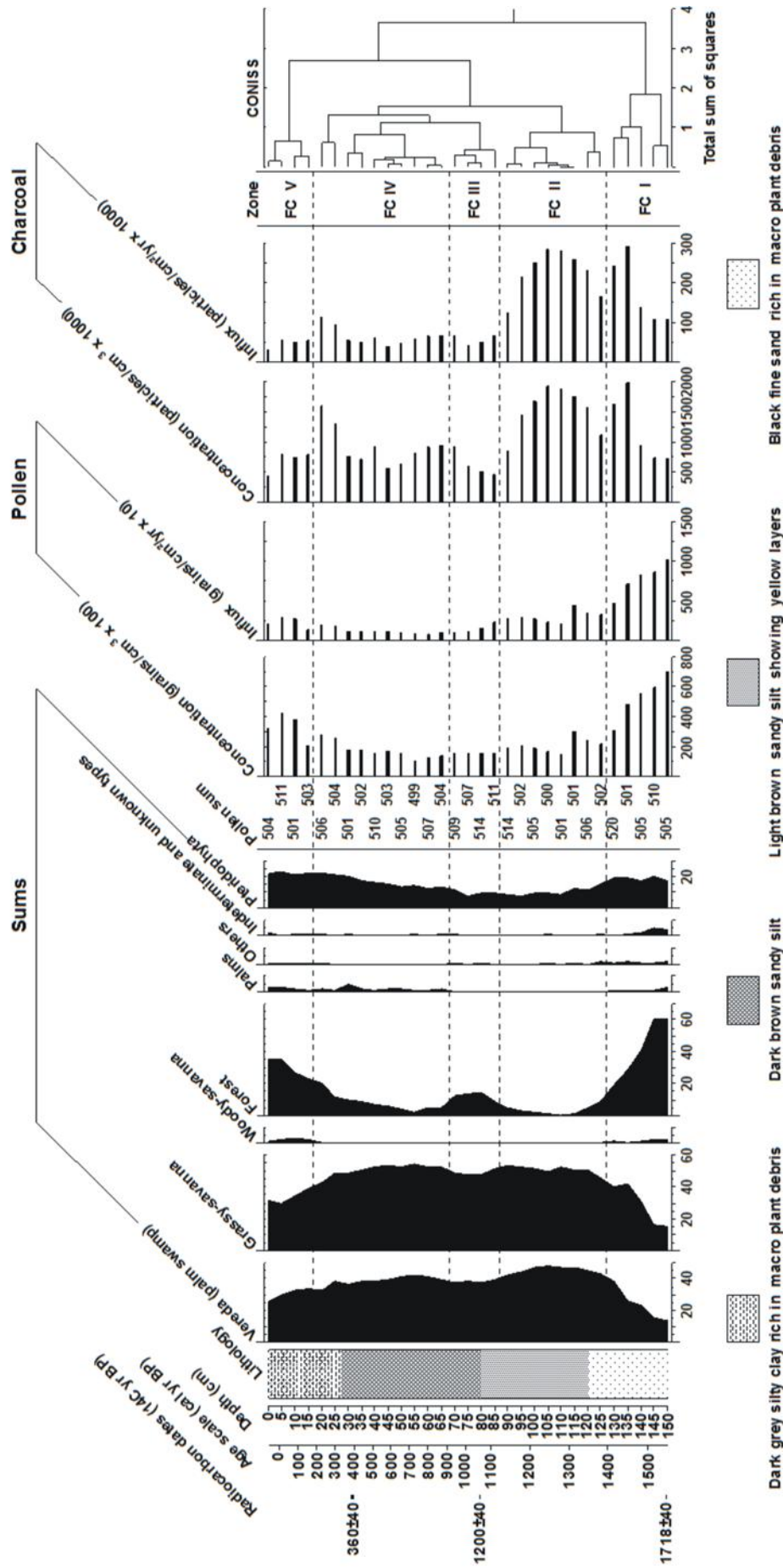


Fig. 7. Summary pollen percentage diagram of the core FC with the AMS radiocarbon dates, age scale, lithology, sums of vegetation groups, pollen and charcoal concentration as well as pollen and charcoal influx and pollen zones.

5. Interpretation and discussion

5.1 Vegetation dynamics and fire frequency

The pollen records from the two different sites TIA and FC provide information about the vegetation changes as well as the fire history occurred in an Amazonian savanna-forest ecotone area during the last 1550 cal yr BP.

The lowermost radiocarbon date which dates the beginning of organic material deposition indicates that the palm swamp of the FC site started at around 1550 cal yr BP, while in the TIA started later at about 1200 cal yr BP. Both records show significant environmental changes usually synchronous except for little differences. One of these differences is the pollen and spore diversity which is higher in FC site (114 pollen and spore types) than at TIA site (81 pollen and spores types). It may be resulting of differences in the structure and floristical composition and their variations between the two sites along the recorded time. Besides the climate, several other environmental variables may influence floristic variation, including relief, geology, water table fluctuations, fire and edaphic factors. According to Gibbs et al. (1983), the variations in soil water table, fire, herbivory and human disturbances are considered important factors in the determination of the floristic heterogeneity of the South American savannas.

Our findings consider here mainly the influence of the climate oscillations and the role of the natural and/or anthropogenic fire on the vegetation dynamic in the studied sites during the recorded period. Hence, the following reconstruction is based on the fossil pollen spectra.

During the period of 1550 to 1400 cal yr BP (zone FC I) occurred the initial establishment of a *Mauritia flexuosa* palm swamp at the FC site, reflecting wet and poorly drained soils. The occurrence of *Mauritia flexuosa* palms is a reliable indicator of wet climatic conditions (Rull, 1998; Marchant et al., 2002). Moreover, abundant pteridophyta (mainly trilete psilate spores) indicate water availability which corroborate wet climate conditions.

This palm swamp was surrounded by species-rich gallery forest as indicated by the high occurrence of *Virola*, *Alchornea*, Melastomataceae, *Protium*, Sapindaceae, Moraceae/Urticaceae, Myrtaceae, Rubiaceae, *Acalypha* and many other. The frequent taxa of Malpighiaceae, Flacourtiaceae, *Didymopanax*, *Vernonia* and even other represented only by single grains (not shown in the diagrams) e.g Anacardiaceae, *Tabebuia*, *Eschweilera*, *Hyeronima* and *Caryocar*, could belong to this diverse gallery forest, or more probably to come from the forest islands occurring nearby to site.

The Asteraceae (normally an important component of the herbaceous stratum in open vegetation) is probably a liana type growing in the border of the forests. The almost or total absence of the herbs of Asteraceae in the savanna as well as its frequency in liana habit into

open forest were observed during the fieldworks. Moreover, the frequent Asteraceae appearance with forest types along the core pollen diagrams support this interpretation. Interestingly this period is characterized as the richest in number of pollen types along the entire FC core, suggesting a highly diverse forest at that time.

The pollen assemblages show that a grass-dominated savanna sparsely scattered by *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia* shrubs or trees was also present at the neighboring areas. The palms, other than *Mauritia flexuosa*, had little importance in the vegetation cover during this period. All these hints reflecting a wet climate similar to current conditions marked by short dry season (4 months on average) or perhaps to higher rainfall rates.

By the end of the period, the gallery forest and other probably forested areas abruptly decreased, while the grass-dominated savanna (especially Poaceae and Cyperaceae) became more abundant in the area. The trees or shrubs of *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia* also declined following the decreasing trends of forest taxa. The high concentration and influx of charred particles during this period were probably responsible for forest and other trees removal. The occurrence of frequent fires during the Medium and Late Holocene caused the destruction of several types of forests in the high Rio Negro basin (Sanford et al., 1985).

In the studied FC site the fire continued to be very common in the following hundreds of years (1400 to 1150 cal yr BP, Zone FC II) while the forest cover was extremely reduced. The fire possibly removed the forest and gallery forest but, the *Mauritia flexuosa* palms were not affected by the fire impact because of its high resilience to fire. On the contrary, the progressive increase of this taxon evidences an expansion of the FC palm swamp and the establishment of the palm swamp in TIA site at around 1200 cal yr BP related to the development of wetter soils in poorly drained areas. The opening of vegetation cover probably was another favorable factor to *Mauritia flexuosa* palm swamp expansion in the FC site. Nevertheless, the intense fire action in this period, it cannot be interpreted as consequence of dry climate due mostly to the formation and subsequently expansion of the *Mauritia flexuosa* palm swamps.

The increase of *Mauritia* and also *Mauritiella* palms is documented in many pollen records from the Llanos Orientales from Colombia region since around 4000 ¹⁴C yr BP in Laguna Carimagua (Behling and Hooghiemstra, 1999), around 3500 ¹⁴C yr BP in Laguna Sardinas (Behling and Hooghiemstra, 1998), around 2500 ¹⁴C yr BP in Laguna Loma Linda (Behling and Hooghiemstra, 2000) and in Laguna Las Margaritas (Wille et al., 2003). In Colombian Amazon lowlands region the palms increase also was verified around 3500 ¹⁴C yr

BP in Laguna Piusbi (Behling et al., 1998), and around 3000 ^{14}C yr BP in Pantano de Monica in the middle Caquetá area (Behling *et al.*, 1999). The abundance of palms at all these locals is interpreted by the researchers as an indication of markedly wetter climatic conditions. In spite of its important role as wet conditions indicator, the general increase of palms in the Colombian region is taken as clear evidence for increased human impact on the landscape, whereas those palms would be potentially used for construction of houses, craft products and nutrition by palaeoindian communities (Balée, 1988). Here, based on our local observations the abundance of *Mauritia* throughout savanna is taken principally as response to water availability into soils propitiated by wetter climate conditions.

During the period of 1400 to 1150 (Zone FC II) and of 1200 to 1000 yr cal BP (Zone TIA I), both the *Mauritia flexuosa* palm swamps expanded throughout these studied sites being surrounded by grass-dominated and treeless savanna. At the FC site the forest cover were rather reduced. At the TIA site proportions around 4% of Melastomataceae and 2% of *Cecropia*, a known wind-transported pollen type suggest the forest cover might have occupied the neighboring areas during this initial period of the TIA core record. Despite of the reduced forest and grassy-savanna dominance, the expansion of the palm swamps suggests that the conditions were wet during this period on average. The expansion of savanna even under wet conditions common since 2000 cal yr BP in the Llanos Orientales region was assumed as product of increasing of human disturbance (Behling and Hooghiemstra, 2000). According to Cavelier et al. (1998) strong anthropogenic impact was able to transform moist forest ecosystems to secondary growth and eventually savanna.

The short period between 1150 and 950 cal yr BP (zone FC-III) is marked by a return of forest vegetation at FC site probably gallery forest indicated by major *Virola*, Melastomataceae and *Alchornea* taxa. The increase of the pioner *Cecropia* taxon preceded the forest regeneration. However, this increase did not reach the same proportion recorded at the initial period of the core record. The number of different pollen types also is comparatively lower. The high concentration of charred particles during this period suggests that the increase of fire frequency did not allow a forest broader expansion. The grassy savanna covered extensively the area around of the stable and dense *Mauritia flexuosa* stands. *Helicteres* and *Cuphea* taxa increased in the vegetation indicating presence of local savanna marshes.

In the TIA site this period of expansion of forest occurred from 1000 to 700 cal yr BP (zone TIA II). This can be interpreted as result of the prior fire decline which allowed a stronger development of gallery forest with large populations of species such as Melastomataceae, *Virola*, Moraceae/Urticaceae, *Protium*, *Alchornea*, Myrtaceae,

Sapindaceae, *Acalypha*, and Rubiaceae. Proportionally in the TIA site the forest expansion was larger (ca. 60 of pollen taxa) than in FC site where the forest taxa representation were only about 20 during the same period. Apparently the TIA palm swamp was completely surrounded by gallery forest that can be enlarged enough to form a forest patch with low occurrence of palms trees except *Mauritia*. It is possible that no direct contact between the TIA palm swamp and the surroundings savanna existed during this time, because of the low contribution of the grassy and woody groups of savanna taxa. Overall the vegetation suggests wet conditions for this period.

In the TIA site this expansion abruptly stopped at ca. 700 cal yr BP and lasted until around 250 cal yr BP (zone TIA III). During this period the forested area decreased and became increasingly replaced by open grass savanna. The *Mauritia flexuosa* palm swamp expanded again. Interestingly is to note that the curve of increase of the *Mauritia flexuosa* palms follows the increasing curve of the grassy savanna suggesting that the removal of forest is so much favorable to expansion of the savanna as for the palm swamps. The high number of carbonized particles in this period implies that fire was the main cause for the forest retreat. This assumption is based on the fact that carbonized particles became more abundant prior to the expansion of grassy savanna suggesting that the fire was the most important factor leading this vegetation change.

In this respect, the results of dated charcoals from central Amazon soils show ages varying within the 130 to 2400 yr BP range, mostly between 1000 and 1500 yr BP (Santos et al., 2000). This period and another later, between 700 to 400 yr BP were identified as dry periods of the late Holocene occurring in the several areas of Amazon region (Absy, 1982). In the Guyana region, Wijmstra and Van der Hammen (1966) claimed an opening of forest indicating dry conditions for the period of 1400 – 1200 cal yr BP. In the present study our results are coincident about the these periods, whereas in the FC site the fires intensity increased from 1400 -1150 cal yr BP, while in the TIA site the highest fire frequency took place about 700 – 400 cal yr BP. Normally the fires occurrence is related to dry climate conditions or is pointed out as consequence of anthropogenic impacts. Our data do not support dry climate conditions during these periods due to persistent occurrence of the moisture indicator *Mauritia flexuosa* palms and unchanged pteridophyta spores along both cores. Thus, it is possible which the successive strong fires which prevented the forest expansion and promoted the remaining of the savanna in the region of Roraima has a anthropogenic origin rather than natural origin.

Since 250 cal yr BP (TIA zone IV) and 200 cal yr BP (Zone FC –IV) to modern times both studied sites experienced significative expansion of the forest. At TIA site the forest

expanded significantly. Also woody-savanna taxa increased at the beginning of the period and decreasing afterwards while the forest continued to increase. *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia* became dense across the landscape but the expansion of forest should have masked the pollen signal of this vegetation on the record. The same is guilty for reduced savanna grasses that surround the forest island at the present time. *Mauritia flexuosa* also lost space inside the forest island probably because of competition among diverse trees. The palms except *Mauritia* became very important in the new floristic composition as well as the genus *Didymopanax* characteristic for secondary open forests. This is in accordance with today's situation, because of the islands of forest includes many palms such as *Attalea maripa*, *Astrocaryum vulgare* and *Pyrenoglyphis maruja*, reflecting anthropogenic impacts on the young regenerating forests. The charcoal particles concentration and influx became very low indicating the fire frequency decreased. This is the plausible reason for forest and wooded savanna became expanded.

In the FC site apparently the marked decrease of the fire was responsible for gallery forest recovering along the palm swamp site. The fire decreased significantly allowing the fast development of the gallery forest as seem at the present day. Comparatively, this current gallery forest is poorer in number of pollen types than that one past gallery forest occurred during the beginning of the record ca. 1550 cal yr BP. It is meaning that the forest was not able to recovery like before due to fire action or current anthropogenic impact such as selective deforestation. The same is true for islands of forest present at the site neighborhood which include many palms trees indicative of anthropogenic performance.

Regarding the forest increase as result of the fire decrease due to the abandonment of the prior settled areas, apparently the TIA site was abandoned earlier than the FC site where two higher peaks of charcoal concentration are still noted at ca. 300 and 230 cal. yr BP. It can be the plausible reason for the modern dominance of grasses in this site while in the TIA site the earlier fire decrease allowed the development of forest and wooded savanna. The presence of the *Bowdichia virgilioides*, a fire intolerant tree (Marchant et al., 2002), commonly spread into savanna around TIA site shows the fire became less intense in modern times. Indeed, this fact reinforces the evidences for expansion of the forest towards savanna area, whereas this specie is also found in the forests ecosystems.

The recovering of the several types of forest in the tropical America region as result of anthropogenic fire decline is noticed after 500 years BP in several places such as Ecuador (Niemann and Behling, 2008), Colombia (Wille et al., 2000), Panamá (Bush and Colinvaux, 1994; Bush et al., 1992) and in the southern Brazil (Behling et al., 2004). The reduction of the anthropogenic fire frequency is related to possible collapse of the indigenous population after

European arrival due to shifts in the agricultural activities (Nevle and Bird, 2008; Wille et al., 2000) and also the believed introduction of Old World diseases by Conquistadors (Denevan, 1992).

In case of the Roraima region, the history of the first human occupation is yet poorly known. However, the few available information point out Amerindians probably lived in the region since at least 4000 years ago and used to be hunters and farming using the fire for clearing lands (Ribeiro, 1997).

Although the European settlers arrived in Brazil by 1500 AD (450 cal yr BP), the Roraima territory was colonized only after 1750 AD (200 cal yr BP) (Freitas, 1998). The first attempts of colonization process were based on enslavement of the indigenous people which resulted in revolts, fights and their escapes towards more inaccessible mountains refuges. Hence, there can have a decrease of these populations and subsequently a anthropogenic fire decline. After several unsuccessful attempts to colonize the region by indigenous settlements, the effective colonization process occurred only after the introduction of cattle around 170 cal yr BP (1780 AD) which also might have contributed for fire decrease.

Although our presented results are consistent with other similar savanna sites, it is very dangerous to claim our results as being a regional trend, mainly because two cores do not improve enough information to interpret the history from so large and diverse savanna region. Moreover, these records range only the last 1550 cal yr BP and thereby do not allow us to know the prior timing and magnitude of the environmental changes.

6. Conclusion

The pollen records evidenced that wet conditions prevailed during all the recorded periods in the both sites. The persistent *Mauritia flexuosa* palm swamps indicate wet soils promoted by high rainfall rates with probably short dry season similarly to the present-day situation. Despite this moisture conditions the fires were very frequent and have markedly influenced the floristic stability of the savanna and forests in the northern portion of Roraima region. These fires occurring mainly between 1400 -1000 and 700 - 400 cal yr BP are probably a combination of natural and mainly human-induced which hampered a wider forest patches and gallery forest expansion.

After the reduction in the fire frequency and less human influence after ca. 250-200 cal BP, the forests began to invade the savanna areas again. The reduction in human activities may have been the result of the arrival of the European settlers. Therefore, we conclude that the forests (mostly gallery forest and secondary forest) are currently recovering over the open vegetation and supposedly without past and present-day human interference, the forests areas

would be much larger than are really now. However, it is necessary to carry out further studies with higher temporal and spatial resolution to draw a more accurate picture regional interpretation.

Acknowledgements

The authors are grateful to the CNPq, that conceded a scholarship to the first author and also provided a research productivity scholarship to the second author. We thank DAAD for financial support during first author's stage work in Germany for pollen and charcoal analysis; to Prof. Dr. Marcelo Cohen for his assistance during the fieldwork.

References

- Absy, M. L., 1979. A Palynological Study of Holocene Sediments in the Amazon Basin. Ph.D. thesis, University of Amsterdam, The Netherlands.
- Absy, M.L., 1982. Quaternary palynological studies in the Amazon basin. In: Prance, G. Ed., Biological Diversification in the Tropics. Columbia Univ. Press, New York, pp. 67–73.
- Balee, W., 1989. The culture of Amazonian forests. *Adv. Econ. Bot.* 7, 1–21.
- Behling, H., Hooghiemstra, H., 1998. Late Quaternary palaeoecology and palaeoclimatology from pollen records of the savannas of the Llano Orientales in Colombia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 139, 251-267.
- Behling, H., Hooghiemstra, H., 1999. Environmental history of the Colombian savannas of the Llanos Orientales since the Last Glacial Maximum from lake records El Pinal and Carimagua. *Journal of Palaeolimnology* 21, 461-476.
- Behling, H., and Hooghiemstra, H. 2000. Holocene Amazon rain forest – savanna dynamics and climatic implications: High resolution pollen record Laguna Loma Linda in eastern Colombia. *Journal of Quaternary Sciences* 15, 687–695.
- Behling, H., Hooghiemstra, H., 2001. Neotropical savanna environments in space and time: late Quaternary interhemispheric comparisons. In: Markgraf, V. (Ed.), *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press, San Diego, USA, pp. 307–324.
- Behling, H., Hooghiemstra, H., Negret, A.J. 1998. Holocene History of the Chocó Rain Forest from Laguna Piusbi, Southern Pacific Lowlands of Colombia. *Quaternary Research* 50, 300–308.
- Behling, H., Berrio, J.C., Hooghiemstra, H., 1999. Late Quaternary pollen records from the middle Caqueta river basin in central Colombian Amazon. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 145, 193-213.
- Behling, H., Pillar, V., Orloci, L., Bauermann, S. G. 2004. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambara' do Sul core in southern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 203, 277–297.
- Berrio, J. C., Hooghiemstra, H., Behling, H., Van der Borg, K. 2000. Late Holocene history of savanna gallery forest from Carimagua area, Colombia, *Review of Palaeobotany and Palynology* 111, 295–308.

- Berrio, J.C., Hooghiemstra, H., Behling, H., Botero, P., van der Borg, K., 2002. Late-Quaternary savanna history of the Colombian Llanos Orientales from Lagunas Chenevo and Mozambique: a transect synthesis. *Holocene* 12, 35-48.
- Bush, M.B., Colinvaux, P.A., 1994. A paleoecological perspective of tropical forest disturbance: records from Darién, Panama. *Ecology* 75, 1761-68.
- Bush, M.B., Piperno, D.R., Colinvaux, P.A., De Oliveira, P.E., Krissek, L.A., Miller, M.C. and Rowe, W.E. 1992. A 14,300 year paleoecological profile of a lowland tropical lake in Panama. *Ecological Monographs* 62, 251-75.
- Bush, M.B., Miller, M.C., De Oliveira, P.E., Colinvaux, P.A., 2002. Orbital-forcing signal in sediments of two Amazonian lakes. *Journal of Paleolimnology* 27, 341-352.
- Carneiro Filho, A. 1991. Contribution to the study of the Forest-Savanna mosaic in the area of Roraima, northern Amazon basin, Brazil. Geopedologic. approach. Master's Thesis, University of Enschede, The Netherlands.
- Cavelier, J., Aide, T.M., Santos, C., Eusse, A.M., Dupuy, J.M., 1998. The savannization of moist forests in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Journal of Biogeography* 25, 901-912.
- Colinvaux, P.A., De Oliveira, P.E., Moreno, J.E., Miller, M.C., Bush, M.B., 1996. Along pollen record from lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science* 247, 85-88.
- Colinvaux, P.A., De Oliveira, P.E., Bush, M.B., 2000. Amazon and Neotropical plant communities on glacial time scales: the failure of the aridity and refuge hypotheses. *Quaternary Science Reviews* 19, 141-169.
- Denevan, W.M., 1992. The pristinemyth: the landscape of the Americas in 1492. *Annals of the Association of American Geographers* 82, 369-385.
- Desjardins, T., Filho, A., Mariotti, A., Chauvel, A., Girardin, C., 1996. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene revealed by stable isotope ratios of soil organic carbon. *Oecologia* 108, 749-756.
- Faegri, K., Iversen, J., 1989. *Textbook of Pollen Analysis*. Wiley, Chichester, United Kingdom.
- Ferraz-Vicentini, K.R., Salgado-Labouriau, M.L., 1996. Palynological analysis of a palm swamp in central Brazil. *Journal of South American Earth Science* 9, 207-219.
- Freitas, A. 1998. *Estudos sociais - Roraima: Geografia e História*. São Paulo, Corprint Gráfica e editora Ltda.
- Gibbs P.E., Leitão Filho H.F. and Shepherd G.J. 1983. Floristic Composition and community structure in an area of cerrado in SE Brazil. *Flora* 173, 433-449.
- Grimm, E.C., 1987. CONISS: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. *Computer and Geosciences* 13, 13-35
- Haberle, S.G., Maslin, M.A., 1999. Late Quaternary vegetation and climate change in the Amazon basin based on a 50,000 year pollen record from the Amazon fan, PDP site 932. *Quaternary Research* 51, 27-38.
- Haffer, J., 1969. Speciation in Amazonian forest birds. *Science* 165, 131-137.
- Marchant, R., Almeida, L., Behling, H., Berrio, J.C., Bush, M., Cleef, A., Duivenvoorden, J., Kappelle, M., De Oliveira, P. E., Teixeira de Oliveira-Filho, A., Lozano-Garcia, S., Hooghiemstra, H., Ledru, M.P., Ludlow-Wiechers, B., Markgraf, V., Mancini, V., Paez, M., Prieto, A., Rangel, O.,

- Salgado-Labouriau, M.L., 2002. Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Review of Palaeobotany and Palynology* 121, 1–75.
- Miranda, I.S., Absy M.L., 1997. A flora fanerogâmica das savanas de Roraima. *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. Barbosa, R.I., Ferreira, E.J.G., Castellón, E.G (Eds), INPA, Manaus, AM, Brasil, p. 445–462.
- Miranda, I.S., Absy, M.L. 2000. Fisionomia das savanas de Roraima, Brasil. *Acta Amazônica*, 30 (3): 423-440.
- Nevle, R.J., Bird, D.K., 2008. Effects of syn-pandemic fire reduction and reforestation in the tropical Americas on atmospheric CO₂ during European conquest. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 264, 25–38.
- Niemann, H., Behling, H., 2008. Late Quaternary vegetation, climate and fire dynamics inferred from the El Tiro record in the southeastern Ecuadorian Andes. *Journal of Quaternary Sciences* 23 (3), 203–212.
- Nimer, E., 1991. Clima. In: *Geografia do Brasil: Região Norte*. IBGE, Rio de Janeiro, p.61–71.
- Ribeiro, P.A.M., 1997. Arqueologia em Roraima: histórico e evidências de um passado distante. In: Barbosa, R. I., Ferreira E. J. G., Castellon E. G. (eds). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. INPA. Manaus, p. 3-24.
- Roubik D.W., Moreno J.E. 1991. Pollen and spores of Barro Colorado Island. *Missouri Botanical Garden* 36, 270 pp.
- Rull, V. 1998. Biogeographical and evolutionary considerations of *Mauritia* (Arecaceae), based on palynological evidence, *Review of Palaeobotany and Palynology* 100, 109-122.
- Salgado-Labouriau, M. L., Barbieri, M., Ferraz-Vicentini, K.R., Parizii, M.G. 1998. A dry climatic event during the Late Quaternary of tropical Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology* 99,115-129.
- Sanford, R.L., Saldarriaga, J., Clark, K.E., Uhl, K., Herrera, R. 1985. Amazon Rain-Forest Fires. *Science* 227, 53-55.
- Santos, G.M., Gomes, P.R.S., Anjos, R.M., Cordeiro, R.C., Turcq, B.J., Sifeddine, A., Di Tada, M.L., Cresswell, R.G., Fifield, L.K., 2000. 14C AMS dating of fires in the central Amazon rain forest. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* 172, 761-766.
- Sarmiento, G., Monasterio M., 1975. A critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystems in tropical America. In *Tropical Ecological Systems; Trends in Terrestrial and Aquatic Research*, Golley FB, Medina E (eds). Springer-Verlag, Berlin; 223–250.
- Schaefer, C. E. R., Dalrymple, J., 1996. Pedogenesis and relict properties of soils with columnar structure from Roraima, north Amazonia. *Geoderma* 71, 1-17.
- Simões Filho, F.F.L. 2000. Sedimentação lacustre e implicações paleoambientais na região de contato floresta-savana de Roraima durante o Holoceno. Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- Stuiver, M., Reimer P.J., 1993. Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon* 35, 215–230
- Van der Hammen, T., Absy, M.L., 1994. Amazonia during the last glacial. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 109, 247–261.

Vanzolini, P.E., Carvalho, C.M., 1991. Two sibling and sympatric species of *Gymnophthalmus* in Roraima, Brazil (Sauria Teiidae). *Papéis Avulsos de Zoologia* 37, 173–226.

Wijmstra, T.A., Van der Hammen, T., 1966. Palynological data on the history of tropical savannas in northern South America. *Leidse Geologische Mededelingen* 38, 71-90.

Wille, M., Negret, J.A., Hooghiemstra, H., 2000. Paleoenvironmental history of the Popayan area since 2700 yr BP at Timbio, Southern Colombia. *Review of Paleobotany and Palynology* 109, 45-63

Wille, M., Hooghiemstra, H., Van Geel, B., Behling, H., Jong, A., Van der Borg, K., 2003. Submillennium-scale migrations of the rainforest-savanna boundary in Colombia: 14C wiggle-matching and pollen analysis of core Las Margaritas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193, 201-223

Whitmore, T.C., Prance, G.T., 1987. *Biogeography and Quaternary History in Tropical America*. Oxford University Press, Oxford, 214 pp

6 ENVIRONMENTAL CHANGES DURING THE LAST MILLENNIUM BASED ON MULTI-PROXY PALAEOECOLOGICAL RECORDS IN A SAVANNA-FOREST MOSAIC FROM THE NORTHERNMOST BRAZILIAN AMAZON REGION (Submetido ao periódico Vegetation History and Archaeobotany)

Maria Ecilene Nunes da Silva Meneses^a, Marcondes Lima da Costa^a, Dirk Enters^b, Hermann Behling^c

^a Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa, 01, Belém, PA, 66075-110, Brazil

^b GEOPOLAR, Institute of Geography, University of Bremen, D-28359 Bremen, Germany

^c Department of Palynology and Climate Dynamics, Albrecht-von-Haller-Institute for Plant Sciences, University of Göttingen, Untere Karspüle 2, 37073 Göttingen, Germany

Corresponding author. Tel.: 55 91 3072 0577; fax: 55 91 3201 7478.
E-mail address: mariaecilene@yahoo.com.br (Maria Ecilene Nunes da Silva Meneses).

Abstract

Environmental changes of the last 1050 years have been reconstructed by pollen, mineralogy and geochemical analyses of sediment cores taken from three *Mauritia flexuosa* palm swamps located in a savanna-forest mosaic, north of Roraima state, in the northernmost part of Brazilian Amazon region. The combined modern pollen and vegetation data were useful to interpret the fossil pollen records. The fossil pollen assemblages indicated wet climatic conditions during all the recorded periods also corroborated by geochemical results. Despite moisture conditions, the fires were frequent being one of the probable causes for grassy-savanna dominance instead of forest expansion. These fires were caused by humans and even nowadays they impede the forest expansion towards savanna areas. However, an edaphical control given by sandy hydromorphic soils can also be expected to maintain the current sharp boundaries between forests and savanna ecosystems.

Key words: Savanna-forest mosaic; vegetation dynamic; fire frequency; Late Holocene; Roraima state - Brazil

1. Introduction

The northern and northeastern portions of Roraima state, located in the northernmost part of the Brazilian Amazon basin are covered by extensive savanna vegetation surrounded by tropical forests. This savanna area covers about 41.000 km² in Roraima state and extends into the territory of Guyana. It belongs to the so-called Rio Branco-Rupununi complex which is regarded the largest continuous block of savanna found in the Brazilian Amazonia (Sarmiento and Monasterio 1975). According to these authors, savannas are stable

ecosystems, floristically dominated by grasses, but also including include herbs, shrubs, and several characteristic trees such as *Curatella* and *Byrsonima*.

The presence of this vegetation type within the Amazon rainforest domains has been widely debated over the past decades. Some researchers invoke the forest refugia theory (e.g. Haffer 1969; Whitmore and Prance 1987; Van der Hammen and Absy 1994) or drier climatic conditions (Behling and Hooghiemstra 1999, 2000, 2001) to explain its origin. According to them, these savanna areas are remains of dry climates during Pleistocene and Holocene periods when these open formations occupied larger areas throughout South America. However, this hypothesis is not totally accepted by other researchers (Colinvaux et al. 1996, 2000; Haberle and Maslin 1999; Bush et al. 2002). Besides of refugia theory other reasons for savanna and tropical forest coexistence are pointed out such as edaphical control (poor soils, restrict drainage), strong contrast of seasonal precipitation and natural or man-made fires performance (Bleackley 1963; Hills and Randall 1968).

Until recently the history of the savannas north of the Amazon basin was poorly known, but it started to change when a significative number of data was published. Most of the records concerning savanna are located in the Llanos Orientales in Colombia (Behling and Hooghiemstra 1998, 1999, 2000; Berrio et al. 2000, 2002; Wille et al. 2003) and also in the Gran Sabana of Venezuela (Rull 1992, 1999). An overview study compared some important savanna ecosystems from north and south of the Amazonian rain forest and documented a history of changes in the wooded savanna, forest, and gallery forest during the Late Pleistocene and Holocene periods (Behling 2002a; Behling and Hooghiemstra 2001).

Pollen evidence from several savanna lakes of the Llanos Orientales in Colombia indicated an expansion of forests over savanna areas since about 4000 cal yr BP (Behling and Hooghiemstra 1998, 1999, 2000; Berrio et al. 2000). In the region of Bolivian lowlands, a probable increase in precipitation facilitated an expansion of the Amazon rainforest, especially during the last 3000 years (Mayle et al. 2000; Burbridge et al. 2004). Isotopic studies carried out in the southern Brazilian Amazon basin (Pessenda et al. 1998; Freitas et al. 2001; Behling 2002b) suggest a similar forest increasing trend over savanna areas by that same period.

In the Roraima savanna region, only few palaeoenvironmental studies are available (Absy 1979; Carneiro Filho 1991; Desjardins et al. 1996; Schaefer and Dalrymple 1996; Simões Filho 2000). The palynological studies are rare and geographically concentrated near to Boa Vista city (capital of the state) or eastern portion of the savanna block (e.g. Lake Caracaranã). The scarcity of data limits the reconstruction of the environmental and climatic history of the present-day landscape which besides of the contrasting vegetation cover,

includes yet features such as dune fields, lateritic outcrops, stone lines and hundred of lakes widespread throughout a flat low plain. According to Schaefer and Dalrymple (1996) this modern landscape disagrees with current wet climatic situation. However, additional palaeoenvironmental records are needed to temporally and geographically constrain the past savanna-forest dynamic in this part of Amazonia.

Here we present multi-proxy records of the latest Holocene climate and environmental history from savanna – forest transition area. Because most of the shallow lakes dry out during the dry season and do not contain organic sediments with preserved pollen, the *Mauritia*-rich palm swamps very common across the savanna landscape, were chosen as another suitable option to carry out this research.

The purpose of the present work is to identify possible environmental changes on vegetation, fire and climate dynamics through combined data of fossil pollen, charred particles, mineralogical and chemical analyses. In order to interpret the fossil pollen data, we also carried out studies to determine the modern pollen rain signatures of the savanna and forest patches, examining the spatially variability of the pollen rain, of different sites and then to compare the pollen rain data with regional floristical inventories to ascertain the pollen–vegetation relationships. Finally it is intended to evaluate how the pollen rain signatures of these vegetation systems are distinguishable one from another, and hence their potential for differentiating between them in the fossil pollen assemblages. Unfortunately, no data about this theme are already available for this savanna-forest region. Then, it provides the first insight in order to understand the modern pollen rain – vegetation relationship in this area.

2 Environmental setting

2.1 Location

The studied savanna-forest mosaic area is located in the northern portion of Roraima state, about 152 km from the city of Boa Vista, capital of the State, in the small Amajari city neighborhoods, approximately between the coordinates 3° 12' 00''– 3° 42' 00''N and 61° 06' 00''– 61° 34' 05'' W (Fig. 1). Three sites were selected for this study. The first site is located near Amajari city (AM), while the second is located relatively close to Uraricoera River (RU) and the third close to indigenous land called Maloca do Boqueirão (MB).

2.2 Climate

The climate of the area is wet tropical Aw according to the classification of Köppen. The annual mean temperature is 27 °C, with an annual variation between 26 and 29 °C. The annual mean precipitation is about 1500 mm. The seasonal regime of precipitation defines

two seasons, a dry season (between October and March) and a wet season (between April and September) (Nimer 1991).

2.3 Modern vegetation

The study sites are located in a savanna-forest mosaic. The savanna vegetation varies from grasslands on low-altitude relief (80-120 m a.s.l) to open woodlands at higher altitudes (120 - 200 m a.s.l). The herbaceous stratum is dominated by Poaceae (*Trachypogon plumosus*, *T. spicatus*, *Andropogon leucostachyus* and *Axonopus conduplicatus*) and Cyperaceae (*Rhynchospora nervosa*, *R. subplumosa*, *R. barbata*, *Bulbostylis conifera* and *B. lanata*), scattered with shrubs and small twisted trees with thick barks and leaves. Other very frequent herbs are *Cassia flexuosa*, *Galactia jussiaeana*, *Merremia aturenensis* and *Eriosema crinitum* (Miranda and Absy, 1997). The most common species in the shrubby or arboreal stratum are *Curatella americana* (Dilleniaceae), *Byrsonima crassifolia* (Malpighiaceae), *Bowdichia virgilioides* (Fabaceae) and *Xylopia aromatica* (Annonaceae).

Extensives palm swamps dominated by *Mauritia flexuosa* occur in the valleys or along the watercourses throughout the whole savanna area forming the so-called “*vereda*” systems like those well-known in the Brazilian central region (Ferraz-Vicentini and Salgado-Labouriau 1996). The floristical composition of the palm swamps varies according to the evolutionary stage of the vegetation. Therefore, the *Mauritia flexuosa* palm can occur as single trees associated to savanna herbs and grasses or coupled with gallery forest trees forming since narrow until wider corridors.

The other forest formation is represented by islands of semi-deciduous forest situated on the summit of the more elevated terrains. A high number of palms such as *Attalea maripa*, *Astrocaryum spp.* and *Pyrenoglyphis sp.* belongs to these forest types. The boundaries between both savanna and forests are generally abrupt. Table 1 shows the floristic composition for savanna, gallery forest and semi-deciduous forest ecosystems according the regional inventories carried out by Miranda and Absy (1997, 2000) and Sette Silva (1993), respectively.

This savanna-forest mosaic is situated on several types of soils from litosols, spodosols and oxisols mainly, besides iron rich laterites.. The soils are strongly acidic, (pH 5), and poor in nutrients (especially magnesium and phosphorus) and in organic matter (Miranda 1998). The spodosols are characterized by a sandy texture with low organic matter, seasonally submitted to hydromorphic conditions and occur immediately on the both sides of the palm swamps, while the laterite outcrops and oxisols are found at the more elevated dry

terrains. All these types of soils developed over the rocks of the Cauarane Group consisting of low to high metamorphic grade rocks (Gaudette et al. 1994), mainly quartzites and gneisses.

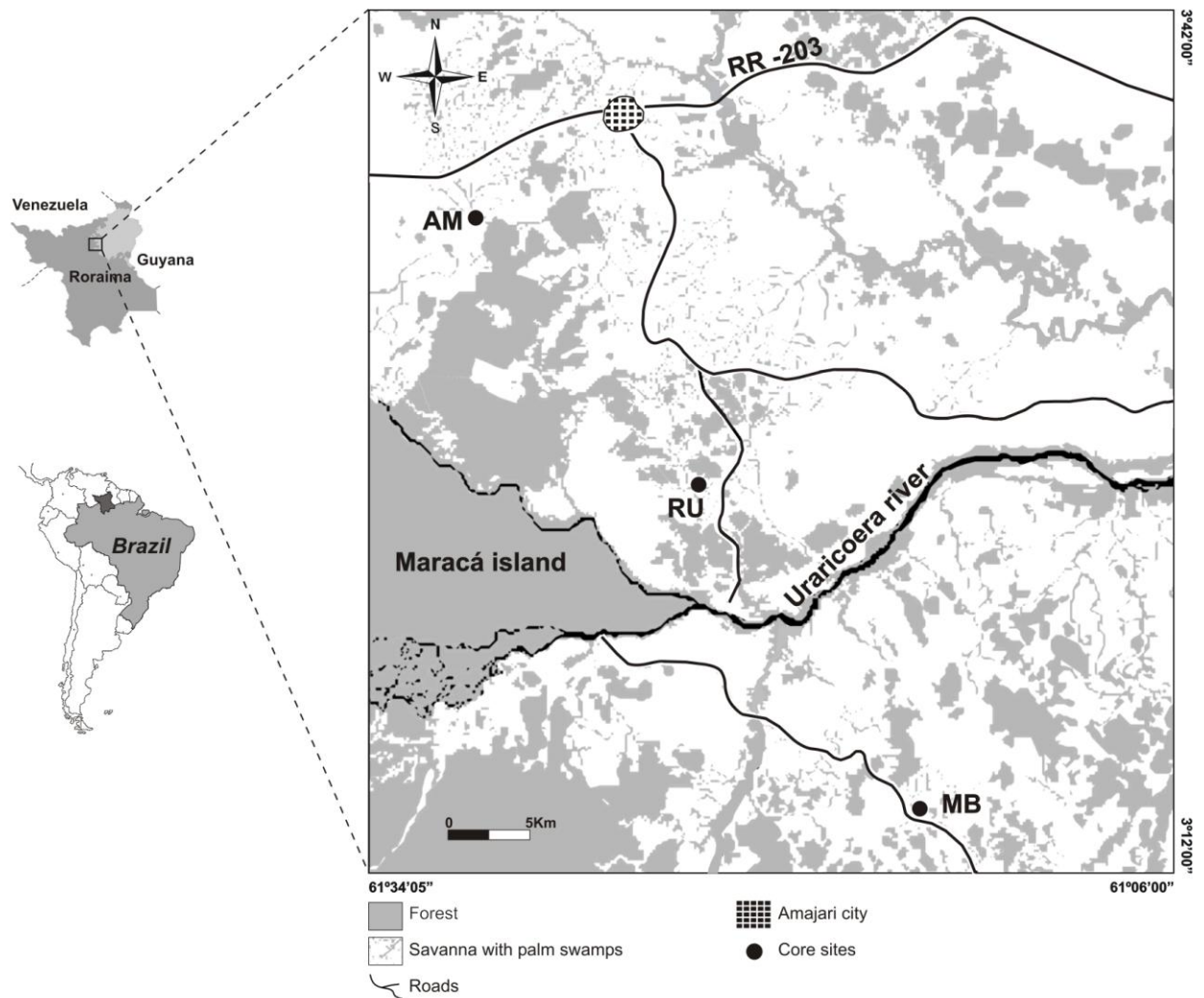


Fig. 1. Map showing the study sites in the savanna-forest mosaic in the Roraima state, northern Brazilian Amazon region: AM - Amajari; RU - Uraricoera river; MB -Maloca do Boqueirão.

Table 1 - List of savanna, gallery forest and semi-deciduous forest islands families and species according regional inventories from Roraima region and field observations.

Savanna	Gallery Forest	Semi-deciduous Forest
Annonaceae	Annonaceae	Anacardiaceae
<i>Xylopia aromatica</i>	<i>Annona sp</i>	<i>Astronium sp</i>
Apocynaceae	<i>Duguetia guianensis</i>	<i>Spondias sp</i>
<i>Himatanthus articulatus</i>	<i>Xylopia sp</i>	Annonaceae
Bignoniaceae	Apocynaceae	<i>Duguetia sp</i>
<i>Godmania esculifolia</i>	<i>Himatanthus sp</i>	<i>Guatteria schomburgkiana</i>
Caesalpiniaceae	<i>Odontadenia geminata</i>	<i>Xylopia aromatica</i>
<i>Cassia spp</i>	Arecaceae	Apocynaceae
<i>Stylosanthes guianensis</i>	<i>Mauritia flexuosa</i>	<i>Aspidosperma sp</i>
Connaraceae	Bignoniaceae	<i>Himatanthus sp</i>
<i>Connarus favosus</i>	<i>Tabebuia uleana</i>	<i>Lacaellea arborescens</i>
Convolvulaceae	<i>Tanaecium jaroba</i>	Arecaceae
<i>Evolvulus spp</i>	Burseraceae	<i>Astrocaryum vulgare</i>
<i>Ipomea assarifolia</i>	<i>Protium aracouchili</i>	<i>Attalea maripa</i>
<i>Merremia aturenensis</i>	Caesalpiniaceae	<i>Pyrenoglyphis sp</i>
Cyperaceae	<i>Macrolobium acaciifolium</i>	Bignoniaceae
<i>Bulbostylis spp</i>	<i>Macrolobium multijugum</i>	<i>Tabebuia uleana</i>
<i>Cyperus spp</i>	<i>Macrolobium sp</i>	Boraginaceae
<i>Eleocharis</i>	<i>Swartzia laurifolia</i>	<i>Cordia spp</i>
<i>Lagenocarpus spp</i>	<i>Swartzia spp</i>	Burseraceae
<i>Rhynchospora spp</i>	Chrysobalanaceae	<i>Protium aracouchili</i>
Dilleniaceae	<i>Couepia sp</i>	<i>Tetragastris panamensis</i>
<i>Curatella americana</i>	Clusiaceae	Caesalpiniaceae
Erythroxilaceae	<i>Clusia martiniana</i>	<i>Bauhinia unguata</i>
<i>Erythroxylum sp</i>	<i>Clusia palmicida</i>	<i>Bauhinia sp</i>
<i>Erythroxylum suberosum</i>	<i>Vismia cayennensis</i>	<i>Hymenea courbaryl</i>
Erioucaulaceae	Erythroxylaceae	<i>Peltogyne sp</i>
Euphorbiaceae	<i>Erythroxylum sp</i>	<i>Senna multijuga</i>
<i>Euphorbia brasiliensis</i>	Euphorbiaceae	<i>Swartzia sp</i>
<i>Euphorbia sp</i>	<i>Acalypha sp</i>	Convolvulaceae
<i>Sebastiania bidentada</i>	<i>Alchornea sp</i>	<i>Turbina sp</i>
Fabaceae	<i>Chamaesyce sp</i>	Chrysobalanaceae
<i>Aeschynomene sp</i>	<i>Mabea biglandulosa</i>	<i>Licania discolor</i>
<i>Bowdichia virgilioides</i>	<i>Mabea caudata</i>	<i>Licania sp</i>
<i>Centrosema angustifolium</i>	<i>Maprounea sp</i>	Clusiaceae
<i>Crotalaria maypurensis</i>	Fabaceae	<i>Vismia amazonica</i>
<i>Desmodium spp</i>	<i>Rhyncosia macrocarpa</i>	Cucurbitaceae
<i>Eriosema sp</i>	<i>Dioclea sp</i>	Erythroxylaceae
<i>Indigofera sp</i>	Flacoutiaceae	<i>Erythroxylum sp</i>
<i>Rhynchosia sp</i>	<i>Casearia negrensis</i>	Fabaceae
Flacourtiaceae	<i>Casearia sp</i>	<i>Centrolobium paraense</i>
<i>Casearia sylvestris</i>	Lauraceae	<i>Machaerium sp</i>
Gentianaceae	<i>Nectandra amazonua</i>	<i>Ormosia sp</i>
<i>Coutoubea ramosa</i>	Lecythidaceae	Flacoutiaceae
<i>Schultesia sp</i>	<i>Eschweilera pedicellata</i>	<i>Casearia sylvestris</i>
Lamiaceae	Melastomataceae	Lauraceae
<i>Hyptis spp</i>	<i>Clidemia bullosa</i>	<i>Mezilaurus itauba</i>
Lythraceae	<i>Miconia sp</i>	<i>Ocotea spp</i>
<i>Cuphea ramulosa</i>	Mimosaceae	Lecythidaceae
Malpighiaceae	<i>Acosmium sp</i>	Malpighiaceae
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	<i>Inga sp</i>	Melastomataceae
<i>Byrsonima crassifolia</i>	<i>Pithecelobium cauliflorum.</i>	<i>Miconia sp</i>

Byrsonima verbascifolia

Malvaceae*Sida spp***Melastomataceae***Clidemia rubra**Miconia rubiginosa**Tibouchina aspera***Mimosaceae***Mimosa microcephala***Myrtaceae***Eugenia sp**Psidium guianense***Ochnaceae***Ouratea sp***Onagraceae***Ludwigia spp***Polygalaceae***Polygala spp***Poaceae***Andropogon spp**Aristida spp**Axonopus spp**Mesosetum sp**Panicum spp**Paspalum spp**Trachypogon spp***Proteaceae***Roupala montana***Rubiaceae***Borreria spp**Palicourea rigida**Randia formosa**Perama hirsuta**Tocoyena sp***Solanaceae***Solanum sp***Sterculiaceae***Melochia spp***Turneraceae***Piriqueta duartiana**Turnera sp***Xyridaceae***Xyris laxifolia**Pithecelobium marginatum**Pithecelobium sp***Moraceae***Brosimum lactescens**Ficus sp***Myristicaceae***Virola sp***Myrtaceae***Eugenia sp**Myrcia sp***Olacaceae***Heisteria acuminata***Polygonaceae***Polygonum sp***Rubiaceae***Duroia kotchubaeoides**Faramea breviflora**Genipa americana***Sapindaceae****Sapotaceae***Matayba guianensis**Pouteria sp***Simaroubaceae***Simarouba amara***Styracaceae***Styrax guianensis***Tiliaceae***Mollia sp***Vitaceae***Cissus erosa***Mimosaceae***Anadenanthera peregrina**Enterolobium schomburgkii***Monimiaceae***Siparuna guyanensis***Moraceae***Brosimum sp***Myrtaceae***Eugenia sp**Myrcia sp**Psidium sp***Piperaceae***Piper sp***Polygonaceae***Coccoloba latifolia***Rubiaceae***Alibertia sp**Duroia sp**Faramea sp***Rutaceae***Zanthoxylum sp***Sapindaceae***Coupania rubiginosa***Sapotaceae***Matayba guianensis**Pouteria venosa***Simaroubaceae***Simarouba amara***Violaceae***Amphirrox sp***Vochysiaceae***Vochysia sp*

3. Materials and Methods

3.1 Sampling and pollen analysis

The three investigated cores AM (Amajari), RU (Uraricoera river) and MB (Maloca do Boqueirão) were sampled in 50 cm-long sections using a Russian corer and were stored under dark and cold (-4°C) conditions until analyses. Four subsamples of 2 cm^3 were used for radiocarbon dating by Accelerator Mass Spectrometry (AMS) at the Beta Analytics Laboratory (USA) and at the University of Erlangen-Nürnberg (Germany). The ^{14}C dates were calibrated using Calib 6.0 (Stuiver and Reimer 1993), in order to calculate calendar ages.

For pollen analysis the cores were sampled at 2.5 cm intervals for AM and MB cores and at 5 cm intervals for RU core. All samples were processed using standard pollen analytical methods applying hydrofluoric acid (HF) treatment and acetolysis (Faegri and Iversen, 1989). For calculations of pollen concentration ($\text{grains}/\text{cm}^3$) and influx ($\text{grains}/\text{cm}^2/\text{yr}$), tablets of *Lycopodium clavatum* spores were added as exotic marker. Because of the general over-representation of *Mauritia flexuosa* pollen, a minimum of 500 pollen grains were counted for each sample. The pollen sum includes pollen of trees, shrubs and herbs. Aquatic pollen, spores of pteridophyta and algae remains were counted and quantified as percentages relative to the pollen sum.

The identification of pollen and spores was based on published pollen atlases and keys (Colinvaux et al. 1999; Roubik and Moreno 1991) and the reference collections of the third author kept at the Department of Palynology and Climate Dynamics, University of Göttingen, containing approximately 3000 neotropical taxa.

Identified pollen and spores were classified in ecological groups regarding the vegetation information by Marchant et al. (2002), floristic inventory from Roraima forests (Sette Silva 1993) and savanna regions (Miranda and Absy 1997, 2000) and also by local observations during the fieldworks. TILIA, TILIAGRAPH and CONISS were used for data calculation, illustration and cluster analysis (Grimm 1987).

In order to reconstruct local fire events, charred particles ($5\text{--}150\ \mu\text{m}$) were counted on the same pollen slides. Charcoal concentration ($\text{particles}/\text{cm}^3$) and accumulation rate ($\text{particles}/\text{cm}^2/\text{yr}$) were calculated based on the known number of spores contained in a tablet of *Lycopodium clavatum* marker added previously in each sample.

3.2. Modern pollen rain

In the order to interpret the fossil pollen information from the study area, sediment surface samples obtained from different formations (savanna, *Mauritia* palm swamp with gallery forest, semi-deciduous forest island) were analyzed for pollen rain study. A total of 17

samples consisting of 2 cm of surface sediment were taken in proper wet locations over about 1.8 km² area close to site AM. Thus, six samples (1 to 6) were collected along the studied AM palm swamp where a developing gallery forest occurs (here referred as *Mauritia* swamp forest). The following samples (7 to 10) were taken from a nearby forest island and the other seven samples (11 to 17) from the surrounding grass-dominated savanna swamps (Fig. 2).

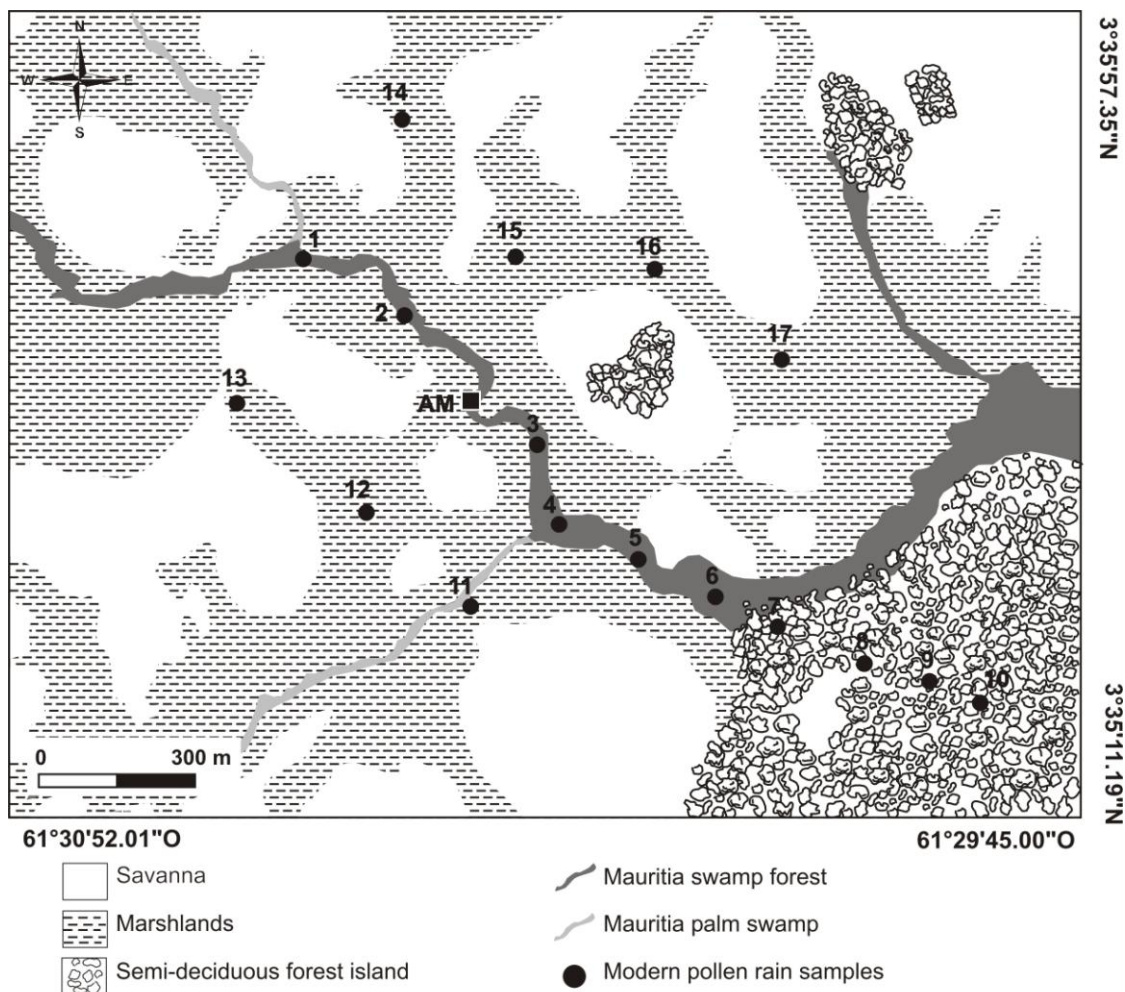


Fig. 2. Distribution of the modern pollen surface samples (1-17) around AM site .

The chemical treatment of the samples followed the same standard method used for sediment core samples (Faegri and Iversen 1989). Pollen and spores were calculated as percentages of the pollen sum and concentration (grains/cm³), while charcoal particles are presented as concentration (particles/cm³). The pollen and charcoal influx could not be calculated due to the unknown period of deposition of the sediments at the sampled locals.

The pollen rain results were firstly compared among themselves in order to recognize the pollen signal of different vegetation sites and afterwards compared with regional floristic inventories carried out in the savanna and forests systems.

3.3 Mineralogical and chemical analysis

For mineralogical analysis samples were taken from the cores at regular intervals of 5 cm. The samples were dried under room temperature and afterwards reduced to powder texture. The minerals identification was carried out by X-ray diffraction (XRD) using a PANalytical, X'PERT PRO MPD model PW 3040/60, cobalt anode ($K_{\alpha 1}$ 1,540598 Å).

The AM core was submitted to the non-destructive XRF scanning chemical analyses (major elements) using an ITRAX core scanner (Croudace et al. 2006) at the Geography Department (GEOPOLAR), University of Bremen. Element count rates measured at a stepsize of 5 mm (Mo X-ray tube, 30 kV, 30 mA, 10s count time) are given in total counts (element peak area).

4. Results

4.1 Sediment texture

The lower part (95-52 cm) of AM core consists of dark grey silty sand, intermixed with sandy layers rich in macroscopic plant debris. From 52 to 15 cm, the sediment consists of light grey silty clay without plant debris becoming darker and enriched in leaves and roots at the uppermost 15 cm depth. The long 47 cm of the RU core is formed by dark grey clayey silt rich in macro plant debris. The long 50 cm MB core is composed of light grey silt and is very compact. The reached substratums of the three cores consist of coarse sandy material pollen barren.

4.2 Chronology

The chronological control for the AM core is provided by two AMS radiocarbon dates. The basal age of this core (93-95 cm core depth) indicates Late Holocene deposits around 1050 cal yr BP. The basal age of the MB core is dated to ca 600 cal yr BP while a radiocarbon date from RU basal sediments gave a modern age (Table 2).

Table 2 - Radiocarbon and calibrated dates for the studied cores.

Laboratory Code	Samples	Depth (cm)	Radiocarbon age (^{14}C)	Calibrated ages in years BP	Average
Beta-269801	AM	48-50	950 ± 40	740 - 900	820
Beta-269802	AM	92-94	1170 ± 40	930 - 1170	1050
Erl-12838	MB	47-49	653 ± 57	530 - 670	600
Erl-12840	RU	45-47	-463 ± 40	Modern	Modern

4.3 Mineralogy

The main mineralogical components of the cores sediments (palm swamps) are quartz and kaolinite. Sillimanite and muscovite also are present as well as feldspars such as microcline and albite occurring in small amounts (Fig. 3). All these minerals have been identified in neighboring spodosols and oxisols. Feldspars, sillimanite and muscovite, as well as quartz, are the main components of the regional bedrock formed by metamorphic rocks (quartzite, gneiss and pegmatoid veins).

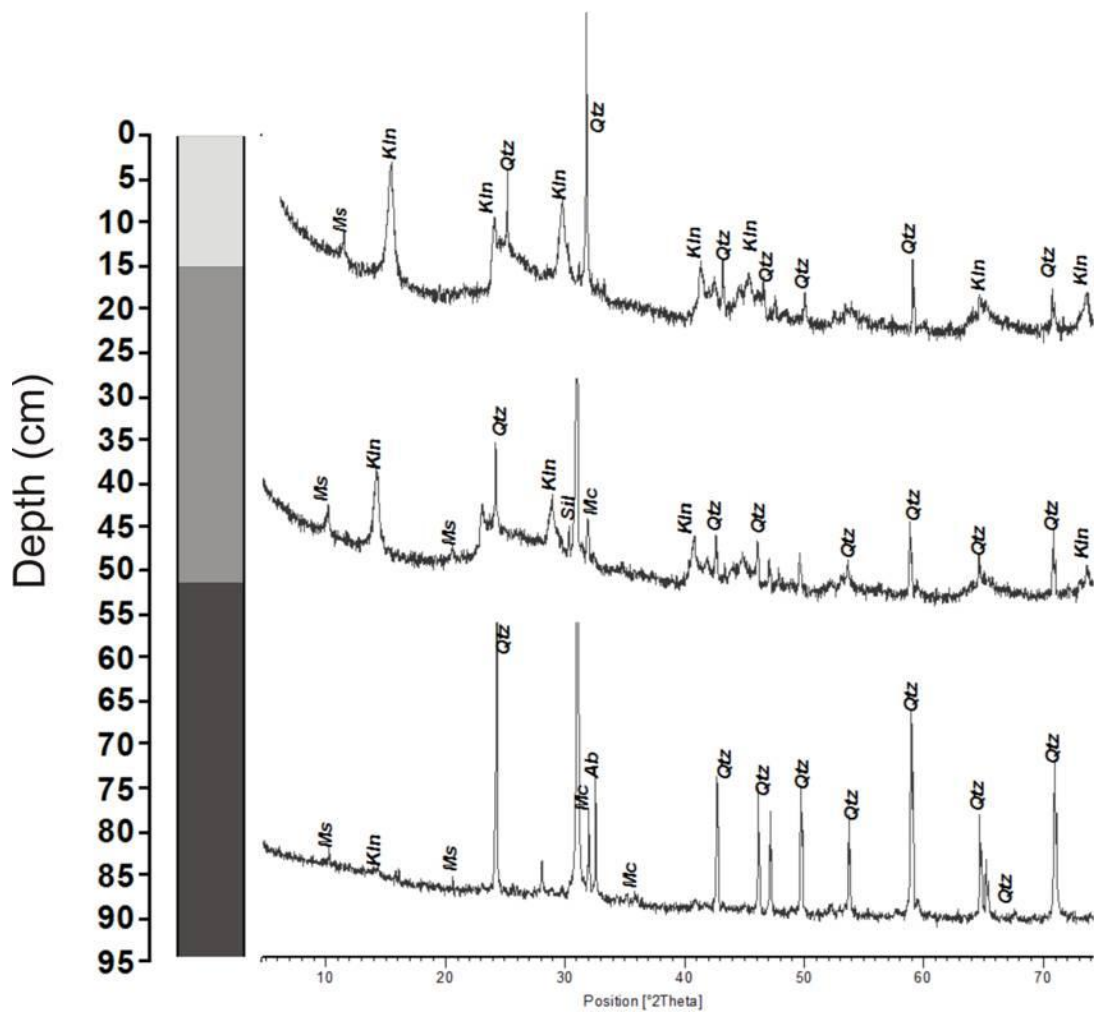


Fig. 3. X-ray diffraction of AM core that represent patterns of the main minerals found in the cores sediments (quartz - Qtz; kaolinite- Kln; sillimanite-Sil; muscovite-Ms; microcline- Mc; albite -Ab).

4.4 XRF chemical data

The element variations along the AM core are illustrated in the Fig. 4. No major chemical composition changes could be detected based on the distributions of the major elements Si, K, Ca, Ti, Mn, and Fe. Low count rates in combination with a high scatter for Si and Al difficult a conclusive evaluation of these elements. However, a slight variation of K,

Ti, counts and inc/coh and Fe/Ti ratios allows distinguish the three main zones at AM core that are consistent with the identified palynological zones except for subdivision of the zone AM I in two subzones (AM Ia and AM Ib) (Fig. 4).

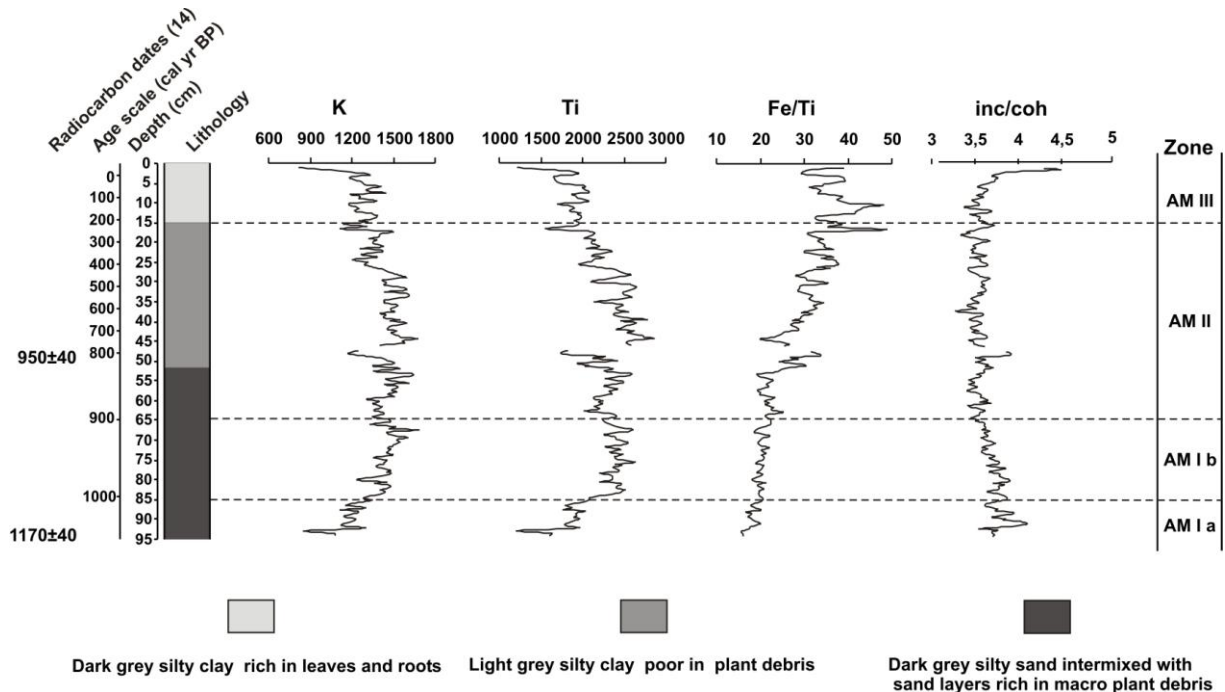


Fig. 4. Diagram showing the element profiles and ratios of the XRF scanning analysis in the AM core, the lithology, ages and recognized zones.

Some elements exhibit rather large shifts at the position of the section break (e.g. Ti). This is possibly being caused by a matrix effect (such as somewhat drier sediments at the section beginning and end due to preferential dewatering). As there is no visual change in the sediment, these shifts should not be interpreted in a palaeoenvironmental context.

Elemental counts for K and Ti are highly correlated. These elements are commonly regarded as proxy for minerogenic input (Enters et al. 2010), possibly as micas. There is an increasing trend from the core bottom (95 cm) to about 70 cm for these elements. Then, concentrations fluctuate around high counts until around 30 cm, when values start to decrease. The standing increasing of organic debris dilute continuously the contents of these elements, which diminish upwards. This could be explained using the ratio of incoherent to coherent scattering (inc/coh) that can be regarded as proxy of the organic matter content. The inc/coh ratios show very little variation with a slightly decreasing trend towards to core top until at 10 cm the ratio start to increase indicating a more organic uppermost sediment layer. This could represent the biogeochemically active zone of the sediment record in which degradation processes of fresh accumulated organic matter takes place.

The ratio of Fe/Ti can be used as redox conditions indicator (e.g. Brunschön et al. 2010) and based on the Fe/Ti ratio, more reducing conditions can be assumed for the lowermost part due to lower values, being consistent with slightly higher organic matter content inferred from the inc/coh ratio.

4.5 Modern pollen rain

Modern pollen assemblages from the surface sediment samples across the three studied vegetation formations (savanna, *Mauritia* and gallery forest and semi-deciduous forest island) are presented in Table 3 and Fig. 5. The modern pollen rain diagram shows the most frequent and important 36 taxa including pollen, spores and algae types which are arranged according to the preferential ecological groups. The compared results of the pollen rain and the modern vegetation data allowed recognizing important differences among the studied vegetation formations, mainly between savanna and forests systems.

4.5.1 Modern pollen from *Mauritia* palm swamp (sites 1-6)

The proportions of *Maurita flexuosa* pollen (15–37 %) are high obviously. Pollen of grassy-savanna corresponds to values between 11 and 26 % primarily Poaceae (2–15 %) and Cyperaceae pollen (2-6 %). *Helicteres* and *Cuphea* pollen values are between 1 and 4 % while *Spermacoce* and *Hyptis* pollen occur at levels lower than 1 %. *Curatella americana* coupled with *Byrsonima crassifolia* give to the woody-savanna values 1 %.

Forest taxa vary between from 35 to 65 %, primarily due to higher pollen frequencies of Melastomataceae (4-9 %), *Virola* (2-8 %), *Alchornea* (2-6 %), Moraceae (2-6 %), Sapindaceae (2-5 %) and *Didymopanax* (2-4 %). *Protium*, *Cecropia*, Myrtaceae, Asteraceae, Bignoniaceae and *Acalypha* occur at values between 1 and 4 % each one. Palm taxa (1-8 %) are represented especially by *Attalea* pollen (1-6 %). Spores of pteridophyta vary from 17 to 25 %. Trilete psilate (7-9 %), monolete psilate (5–8 %) and *Lycopodium cernuun* (2-3 %) are the principal spore taxa.

Pollen concentration (29,700–40,000 grains/cm³) is higher compared to other vegetation systems sites. Charcoal concentration (300,800 – 527,300 particles/cm³) is lower than in the savanna sites and slightly higher than in the forest island sites.

4.5.2 Modern pollen from semi-deciduous forest island (samples 7-10)

The pollen spectrum show high values of forest taxa (60 - 73 %) because of the high representation of *Alchornea* (2-9 %), *Cecropia* (4-9 %), Melastomataceae (3-9 %), Moraceae (2-9 %), *Didymopanax* (5-7 %), Myrtaceae (3-5 %), *Bauhinia* (1-7 %) and Rubiaceae (3-5 %).

Pollen of Sapindaceae, *Piper*, *Pouteria*, *Protium* and the Fabaceae type occur in values between of 2 and 4 . The other forest taxa occur in minor amounts (1). The palms group frequency varies from 20 to 31 due to mainly *Attalea* (11–24), *Astrocaryum* (3–4) and the Areaceae reticulate type (2–5).

Pollen of savanna taxa (3–6) is poorly represented at the sites because of the low values of Poaceae (2–4) and Cyperaceae (2). The *Mauritia flexuosa* pollen (0–4) also is low at all samples as well as the woody savanna trees (2) represented only by single pollen grains of *Curatella americana*.

Pteridophyta spores (18–25) are well represented in forest sites, mostly by trilete psilate (6–10), monolete psilate (5–7) and *Lycopodium cernuum* (4–5).

Pollen concentration (13,400–15,700 grains/cm³) is lower than in the other vegetation systems as well as the charcoal concentration (92,200 – 251,600 particles/cm³).

4.5.3 Modern pollen from savanna area (samples 11-17)

Savanna taxa are predominant in all of the 7 sampled sites with frequencies between 57 and 87 . Pollen of Poaceae (31–55) and Cyperaceae (8–14) dominate the spectra pollen of all sites. Other frequent taxa are the *Tibouchina* type (2–8), *Spermacoce* (2–6), *Hyptis* (1–4), *Cuphea* (2–3), Polygalaceae and *Ludwigia* (1–3 each one) that occur with stable proportions. Other savanna types such Gentianaceae, *Desmodium*, *Drosera*, *Solanum*, *Sida* and Eriocaulaceae appear scarcely with singles grains or up to 1 . The pollen of the woody savanna *Curatella americana* and *Byrsonima* trees (all 2) are low. The *Mauritia flexuosa* pollen vary from 9 to 17 with a highest value of 32 at the site 11, where a *vereda* occurs at initial stage of formation.

Forest taxa represented by Melastomataceae, *Didymopanax*, *Alchornea*, Moraceae and *Cecropia* are less frequent in savanna sites ranging values from 3 to 10 altogether. *Didymopanax* pollen is the most frequent forest taxon in savanna sites with values of 1 to 3 . The palms group (other than *Mauritia flexuosa*) are poorly represented with values 1 .

Spores of pteridophyta (13–19) mainly monolete psilate (4–9), trilete psilate (2–5) and *Lycopodium cernuum* (4–7) are relatively low in savanna sites. Pollen concentration (19,200–23,300 grains/cm³) is lower than in samples from the palm swamp and higher than those from forest island sites. Charcoal particles are present in all surface samples, occurring with the highest concentration (1,3–2,8 million particles/cm³) compared to sites of the forest systems.

Table 3 - List of identified pollen and spores in the modern pollen rain of the surface sediments samples around AM core site, arranged conform their preferential ecological community

Savanna	Mauritia swamp forest	Island of forest	Both forests formations
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Asteraceae	<i>Anadenanthera</i>	<i>Acalypha</i>
Caesalpiniaceae	Bignoniaceae I	Arecaceae ret. type	<i>Alchornea I</i>
<i>Centrosema</i>	Bignoniaceae II	<i>Astrocaryum</i>	<i>Alchornea II</i>
<i>Crotalaria</i>	Bombacaceae	<i>Attalea</i>	Anacardiaceae
<i>Cuphea</i>	<i>Caryocar</i>	<i>Bauhinia</i>	Apocynaceae
<i>Curatella americana</i>	<i>Chamaesyce</i>	<i>Casearia sylvestris</i>	<i>Cecropia</i>
Cyperaceae	<i>Clusia type</i>	<i>Coccoloba</i>	Flacourtiaceae
<i>Desmodium</i>	<i>Dioclea</i>	<i>Cordia</i>	Malpighiaceae
<i>Drosera</i>	<i>Echinodorus</i>	Cucurbitaceae	Melastomataceae
Eriocaulaceae	<i>Eschweleira</i>	<i>Dalechampia</i>	Moraceae
<i>Eriosema</i>	<i>Genipa</i>	<i>Didymopanax</i>	Myrtaceae
Euphorbiaceae type	<i>Inga</i>	Fabaceae I	<i>Pouteria</i>
Fabaceae type II	<i>Isertia</i>	<i>Hyeronima</i>	<i>Protium</i>
Fabaceae type III	<i>Mabea</i>	<i>Piper</i>	Rubiaceae
<i>Galactia</i>	<i>Maclobium</i>	<i>Tabebuia</i>	Sapindaceae
Gentianaceae	<i>Mauritia flexuosa</i>	<i>Turbina</i>	<i>Swartzia</i>
<i>Helicteres</i>	Meliaceae	<i>Vernonia</i>	Unknown 1-8
<i>Hyptis</i>	<i>Nimphoides</i>		Pteridophyta
<i>Ipomea</i>	<i>Odontadenia</i>		Monolete psilate I
<i>Ludwigia</i>	Passifloraceae		Monolete psilate II
<i>Merremia</i>	<i>Polygonum</i>		Monolete verrucate
Poaceae	Tiliaceae		Trilete psilate
Polygalaceae	Verbenaceae		Trilete verrucate I
<i>Sida</i>	<i>Virola</i>		Trilete verrucate II
<i>Solanum type</i>	<i>Vismia</i>		Lycopodium type
<i>Spermacoce</i>			Lycopodium cernuun
<i>Tibouchina</i>			
<i>Xyris</i>			

4.6 Modern pollen – vegetation relationship and environments comparisons

In order to establish modern pollen–vegetation relationships, the data of pollen rain were compared to floristical data from the present vegetation along the AM palm swamp and across the surrounding savanna matrix cover and the forest island nearby the core site. Table 1 shows the floristic data for savanna, gallery forest and semi-deciduous forest vegetation.

Regarding firstly the savanna system, the families Poaceae and Cyperaceae are the most abundant taxa occurring in savanna vegetation and also in the pollen rain data. Although Cyperaceae taxa are normally regarded as aquatic grasses, they occur throughout Roraima savanna occupying both dry and wet sites. According to Miranda (1998), the family Cyperaceae is one of the most important components of this open vegetation whose importance is also reflected in the pollen rain.

As expected, most of the taxa growing on savanna are represented at least by single pollen grains in the surface samples. However, some taxa show a closer correspondence, for example, *Tibouchina*. This shrub with high abundance across the savanna marshlands is being distinguished from the other Melastomataceae pollen by its bigger size. *Spermacoce* pollen probably represent those taxa listed as *Borreria* types on the floristic inventory. *Ludwigia* is also a very common shrub occurring along the savanna marshes. The absence of Asteraceae in the savanna pollen spectrum reflects its rarity in this vegetation type (Wijmstra and Van der Hammen 1966).

It is interesting to note that the most frequent pollen grains found in the sediments from savanna sites are characteristic of marsh vegetation with local occurrence (e.g. *Spermacoce*, *Tibouchina*, *Cuphea*, *Hyptis*, *Ludwigia*, Polygalaceae and *Xyris*). Species of Poaceae and Cyperaceae also occur into these wet places, but they are palynologically not distinguishable from other types. *Curatella americana* and *Byrsonima* type are the principal component of woody savanna cover, but they have less importance in the pollen rain (2).

With regard to the forests sites, a distinction between the pollen signal of *Mauritia* swamp forest and semi-deciduous forest island is problematic due to shared occurrence of several taxa mainly *Alchornea*, Moraceae, Melastomataceae, to Myrtaceae, Sapindaceae and Rubiaceae whose proportions are almost similar for both forest communities. However, some differences can be observed, i.e., the abundance of *Mauritia flexuosa*, *Virola*, Asteraceae and Bignoniaceae in the *Mauritia* swamp forest sites and their almost absence in the semi-deciduous forest samples. Moreover, many other taxa whilst in lower amounts are supposed to separate a formation from each another. For example, the occurrence of the *Macrobium* type, *Genipa*, *Inga* and some taxa belonging to family Euphorbiaceae e.g. *Sebastiania*, *Chamaesyce* (not shown in diagram) represented by values up to 1 in the *Mauritia* swamp forest.

On the other hand, some taxa are well represented in the semi-deciduous forest and rarer or absent in the *Mauritia* swamp forest such as *Bauhinia*, the Fabaceae type and mostly the palms of *Attalea*, *Astrocaryum* and the Arecaceae reticulate type (probably *Pyrenoglyphis*, an abundant palm tree along the forest island). Curiously the proportions of *Cecropia*, *Piper* and *Didymopanax* in the forest island sites are higher than in the *Mauritia* swamp forest.

The constant presence of *Didymopanax* along the all studied vegetation formations is surprising, whereas this genus is not anemophilous as the first ones. *Didymopanax* is a well-known shrub growing in savanna sites e.g. Llanos Orientales from Colombia (Behling and Hooghiemstra 2000; Berrio et al. 2002). However, is probable that *Didymopanax* occurs as a

shrub growing into the forest as indicated by its highest pollen frequency inside the forest samples. Since *Didymopanax* is not wind-pollinated and has hermaphrodite flowers, its representation in the pollen rain of all studied samples can be attributed to its “messy pollination syndrome” whereby its very open flower structure with large number of exposed anthers results in easily dispersed pollen grains (Gosling et al. 2005).

In general the pollen rain signatures of the both forest reflect partly the floristical composition of the systems, whereas they also shared taxa belonging to the families Moraceae, Sapotaceae, Myrtaceae, Rubiaceae, Euphorbiaceae, Flacourtiaceae, Malpighiaceae, Fabaceae and many other.

Although, Melastomataceae and Combretaceae pollen grains cannot be differentiated one from another, supposedly this group represents Melastomataceae especially *Miconia* inferred by its abundance in the *Mauritia* swamp forest as well as in the semi-deciduous forest and more restrictly in the savanna areas. As for Combretaceae no occurrence was found in the vegetation.

Nevertheless, most of the taxa listed in the inventories, are also found in the modern pollen samples, it is interesting to observe that several families with abundant occurrence in both forests and also in the savanna vegetation such as Annonaceae, Lauraceae, Chrysobalanaceae, Monimiaceae, Proteaceae, Olacaceae, Simaroubaceae are missing in the pollen assemblages. Specific particularities in the pollen production, dispersal power and preservation conditions could be responsible for such anomalies (Behling and Negrelle, 2006). For example, *Xylopia aromatica* and other Annonaceae species are well represented in the savanna vegetation, but were not found in the pollen rain samples, probably because they have very fragile pollen grains (Salgado-Labouriau 1973). All the pollen and spores types recognized in the modern pollen rain are listed in Table 3.

4.7 Description of the AM core diagrams

About 84 distinct pollen and spore types were identified and the detailed percentages pollen diagram is shown in the Fig. 6. The records of the ecological groups, the pollen sum, the pollen and charcoal concentration, and accumulation rates are illustrated in Fig. 7. A cluster analysis of terrestrial pollen taxa allows to recognize the zones AM-I, AM-II and AM-III (Fig. 7).

The zone AM-I (95–67 cm; ca. 1050–900 cal yr BP) is marked by a high pollen representation (13–41 %) of forest taxa such as *Virola* (0–7 %), Moraceae (1–6 %), Melastomataceae (2–4 %), *Alchornea* (1–5 %) and *Cecropia* (1–4 %). Other forest taxa such as

Protium, *Didymopanax*, *Acalypha*, Myrtaceae, Sapindaceae, Asteraceae and *Piper* appear with lower values (< 2 each ones). Pollen of *Mauritia flexuosa* increases from 29 in the lowermost part of this zone to 45 at the top. Grassy savanna pollen (22–38), are well represented, especially Poaceae (10–25) and Cyperaceae (3–5). Pollen of *Helicteres* (1–4), *Spermacoce* (1–2), *Cuphea* (1–3) and *Hyptis* (0–2) occur in minor proportions. Percentages of woody savanna taxa are low caused by low frequency of *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia* (all 1-2). Aquatic taxa (0–3) are represented by small amounts of *Polygonum* and *Nymphoides*. The Algae group (1–5) is composed mainly by *Pseudoschizaea* (1–4) and single colonies of *Botryococcus*. Pteridophyta spores (14–23) percentages are high in this zone due to mainly monolete psilate (5–9), trilete psilate (5–10) and *Lycopodium cernuum* (1–3).

Pollen concentration (20,000–36,000 grains/cm³) and pollen influx (3900–7000 grains/cm²/yr) are higher than following zones. Charcoal concentration (582,000–1.4 million particles/cm³) and charcoal influx (114,000–281,000 particles/cm²/yr) are increasing towards to the top of this zone.

The zone AM-II (67–15 cm; ca. 900–210 cal yr BP) is characterized by high pollen frequency (42–55) of *Mauritia flexuosa* as well as grassy-savanna taxa (41-51), primarily Poaceae (24-38) and Cyperaceae (4–10). Other grassy-savanna taxa such as *Spermacoce* (1-4), *Cuphea* (1-3), *Hyptis* (0-3) and *Helicteres* (0-3) have lower representations. Pollen of forest taxa is strongly reduced until the minimum value of 1 or lower, but showing a slight increase (10) at the top of the zone. The low amounts of all forest pollen types including *Virola*, *Alchornea*, Melastomataceae, Moraceae, *Didymopanax*, *Cecropia*, *Protium* and Sapindaceae are the reason for the decrease of this group. Woody-savanna pollen taxa (< 2) show low values being nearly absent along the most part of zone. Palm taxa are rare as well as aquatic taxa pollen. Spores of pteridophyta values vary between 13 and 23 . Monolete psilate (7–13), trilete psilate (4–8) and *Lycopodium cernuum* (1–6) are still the most important taxa of the group.

Pollen concentration (10,600–20,000 grains/cm³) is lower than in previous zone and also the pollen influx (600–3700 grains/cm²/yr). Charcoal concentration (700,000 – 1.4 million particles/cm³) is very high with some variations through this whole period. Charcoal influx (40,000–268,500 particles/cm²/yr) is also high.

In zone AM-III (15–0 cm; ca. 210 cal yr BP to modern times) the proportions of *Mauritia flexuosa* pollen (28–47) are slightly lower than in the previous zone with an decreasing trend towards to the top. Poaceae pollen (15–22) decreases at the top of the core,

while Cyperaceae pollen (3-7) remains relatively stable. Pollen of the grassy-savanna group corresponds to values between 29 and 38 . *Spermacoce*, *Hyptis*, *Helicteres* and *Cuphea* pollen occur at levels lower than 3 . Similar to the previous zone woody savanna taxa are rare (1).

Forest taxa increase markedly from 12-15 to the highest value of 33 at the top of the core, reflecting the increasing frequencies of *Virola* (1-4) and Melastomataceae (2-3). Pollen values of *Alchornea*, *Didymopanax*, *Cecropia*, Moraceae occur between 1 and 3 , while Myrtaceae and Sapindaceae occur at levels 2 . Palm taxa (2-4) are represented by *Attalea* pollen in low amounts (2-3). Spores of pteridophyta vary from 21 to 23 . Trilete psilate (7-10), monolete psilate (4-6) and *Lycopodium cernuum* (2-4) are the principal spore taxa.

Pollen concentration (22,000–28,300 grains/cm³) is high, though, pollen influx (1220–1500 grains/cm²/yr) is low. Charcoal concentration (300,000–600,000 particles/cm³) and charcoal influx (18,300–33,370 particles/cm²/yr) are lower during this zone.

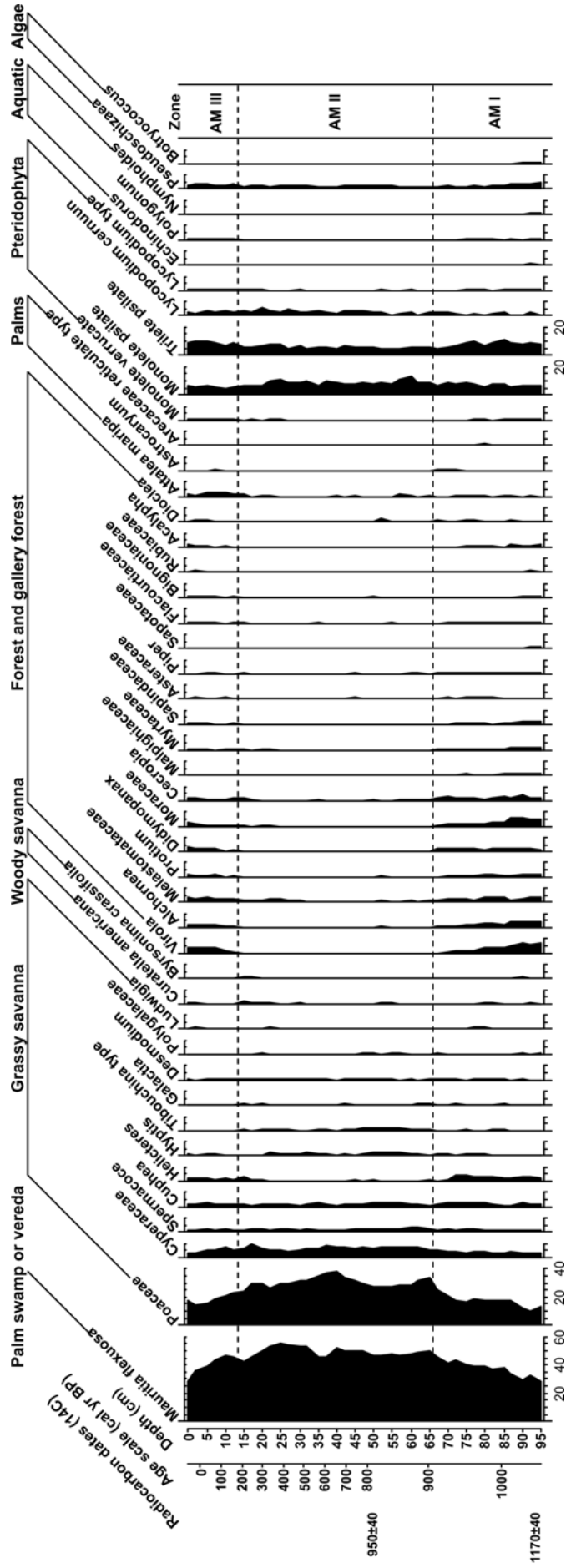


Fig. 6. Pollen percentage diagram of AM core showing the most important taxa grouped into Palm swamp or vereda, Grassy savanna, Woody savanna, Forest and gallery forest, Palms and Pteridophyta.

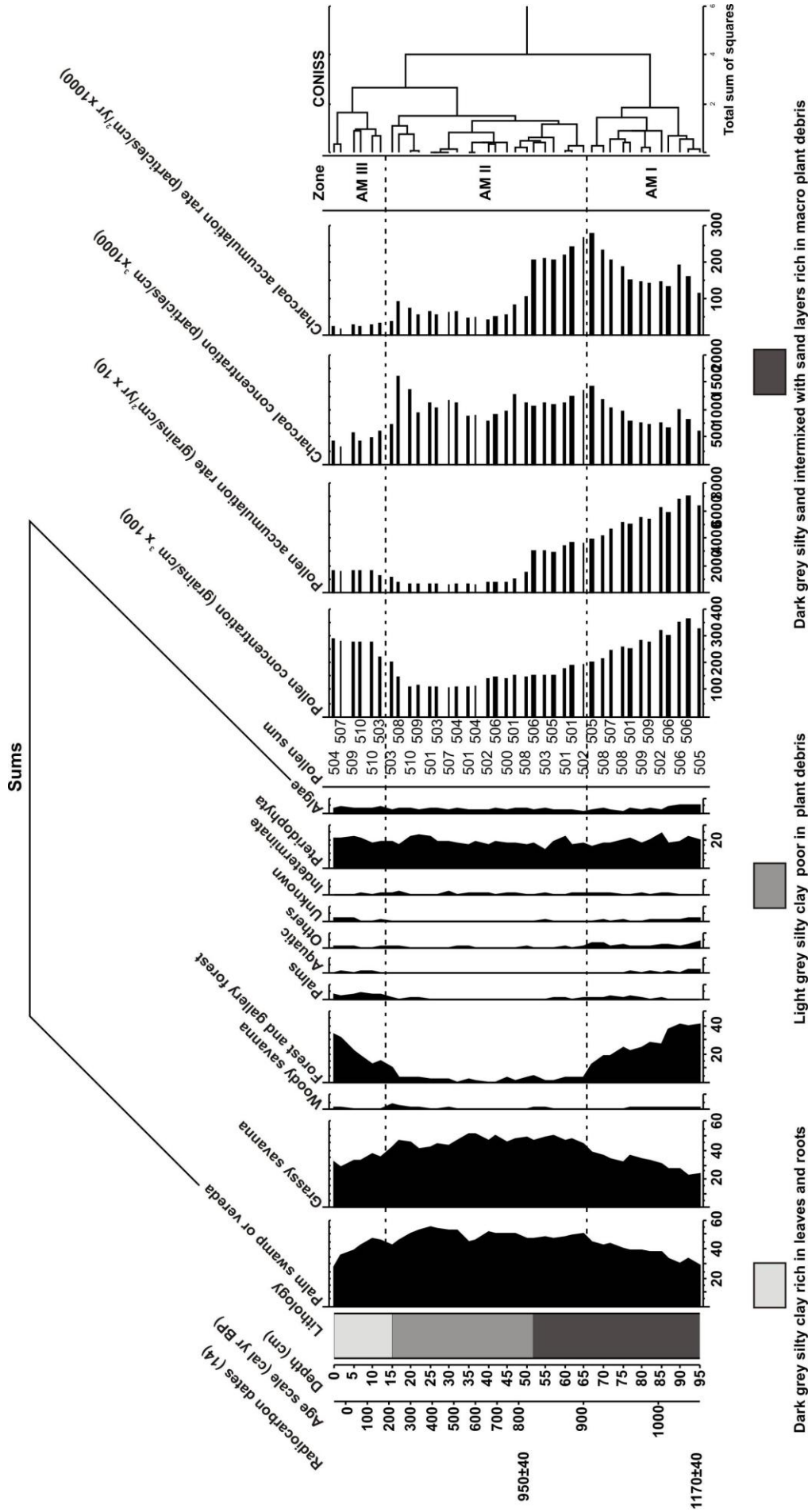


Fig. 7. Summary pollen percentage diagram of the core AM with the AMS radiocarbon dates, age scale, lithology, sums of vegetation groups, pollen and charcoal concentration as well as pollen and charcoal influx and pollen zones.

4.8 Description of the MB core diagrams

A total of 21 samples were analyzed. The most abundant 34 taxa from a total of 53 pollen and spore types are shown in a detailed percentage diagram (Fig. 8). Identified pollen and spores grouped into different vegetation are illustrated by a summary percentage diagram (Fig. 9). Two zones are distinguished by cluster analysis (MB-I to IIa and IIb). Pollen concentration (20,100–30,000 grains/cm³) and pollen influx (1500–2300 grains/cm²/yr) remain relatively stable along the entire core. The values of charcoal concentration (819,000–2,1 million particles/cm³) and charcoal influx (51,000–163,300 particles/cm²/yr) are high, with a slight increase at the top of the core in zone MB-IIb (Fig. 9).

Zone MB-I (50–40 cm, ca. 600–470 cal yr BP) is characterised by a high proportion (55–70%) of grassy savanna taxa with the lowest values at the uppermost part of the zone due to decreasing trends of Poaceae (31–38%) and Cyperaceae (7–14%) pollen. The other important grassy savanna taxa are *Spermacoce* (3–4%), *Cuphea* (3–4%), *Tibouchina* type (3–5%), *Hyptis* (2–3%), *Xyris* and *Ludwigia* (0–2%) recorded in stable proportions. *Mauritia flexuosa* pollen starts with 16% and increases to 32% at the top of this zone. Woody savanna taxa (1%) are poorly represented due to rare occurrence of *Curatella americana*, and *Byrsonima crassifolia* also reported along the whole core.

Forest taxa (6–13%) consist mostly of pollen of *Cecropia* (1–4%), *Didymopanax* (1–2%), *Piper* (0–2%) and Melastomataceae (1–3%). The group of palms exhibits stable values around 1–2% because low amount of *Attalea* pollen (1–2%) and Areaceae reticulate type (1%). Pteridophyta spores vary between 18% and 28%. The most important representants are monoete psilate (9–17%), *Lycopodium cernuum* (4–13%) and trilete psilate (2–4%).

Zone MB-IIa (40–15 cm, ca. 470–140 cal yr BP) shows high and stable proportions (42–53%) of grassy savanna taxa indicated by constant values of Poaceae (25–32%) and Cyperaceae pollen (4–10%). *Spermacoce* (1–2%), *Cuphea* (1–4%), *Hyptis* (1–3%), the *Tibouchina* type (0–3%), *Xyris* and *Ludwigia* (1%) show a subtle decrease compared to previous zone. The *Mauritia flexuosa* values are increasing from 30% at the lowermost part to a maximum value of 39% at the uppermost part of this zone.

Forest taxa vary from 6 to 16% indicated mainly by *Cecropia* (1–6%), *Didymopanax* (1–3%), *Piper* (1–2%) and Melastomataceae (0–3%). Palm taxa (2–4%) show values slightly higher compared to previous zone. Pteridophyta spores fluctuate between 17 and 32% within this subzone.

Zone MB-IIb (15–0 cm, ca. 140 to modern times cal yr BP) the grassy savanna proportions occur at levels of 40 to 48% dominated primarily by Poaceae (24–29%) and

Cyperaceae (5–8 %). The other more important grassy savanna taxa remain at the same levels mentioned for previous subzone. Forest taxa reach a maximum value of 19 % because of higher pollen frequencies of *Cecropia* (3–8 %) and *Didymopanax* (3–8 %) mainly. The other forest taxa (e.g. Melastomataceae, Myrtaceae, *Piper* and *Alchornea*) maintain the same levels recorded before. The same is true for palms taxa frequency (3–4 %) dominated mostly by *Attalea* (2–3 %) pollen occurrence. Pteridophyta spores decrease with values between 16 and 22 %. In general, there are little differences between those two subzones MB-IIa and MB-IIb.

4.9 Description of the RU core diagrams

The pollen record of RU site in general shows few changes along the core (Fig. 10). The pollen concentration also displays few variations (13,700 -23,350 grains/cm³) being somewhat lower at the bottom of the core. Charcoal particles concentration are lower (340-660,000 particles/cm³) when compared to the other studied cores results.

The entire pollen spectrum (47–0 cm, 20 subsamples) that represents modern times deposition is characterised by high percentages of *Mauritia flexuosa* pollen (25–38 %) as well as of grassy savanna taxa such as Poaceae (20–34 %), Cyperaceae (4–8 %), *Tibouchina* type (2–5 %), *Cuphea*, *Hyptis* and *Ludwigia* (1–3 % each ones). Woody savanna taxa (0–2 %) are poorly represented due to low values of *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia*. The forest pollen (8–13 %) values are stable, represented especially by *Cecropia* (1–5 %), *Didymopanax* (1–4 %) and Melastomataceae (0–2 %). *Alchornea*, Moraceae, Myrtaceae and *Piper* appear with lower values (< 1 %). The palms taxa vary between 3 and 5 % mostly due to *Attalea* pollen (2–4 %). Pteridophyta spores (10–19 %) values are stable represented by monolete psilate (6–11 %), *Lycopodium cernuum* (2–6 %) and trilete psilate (1–4 %).

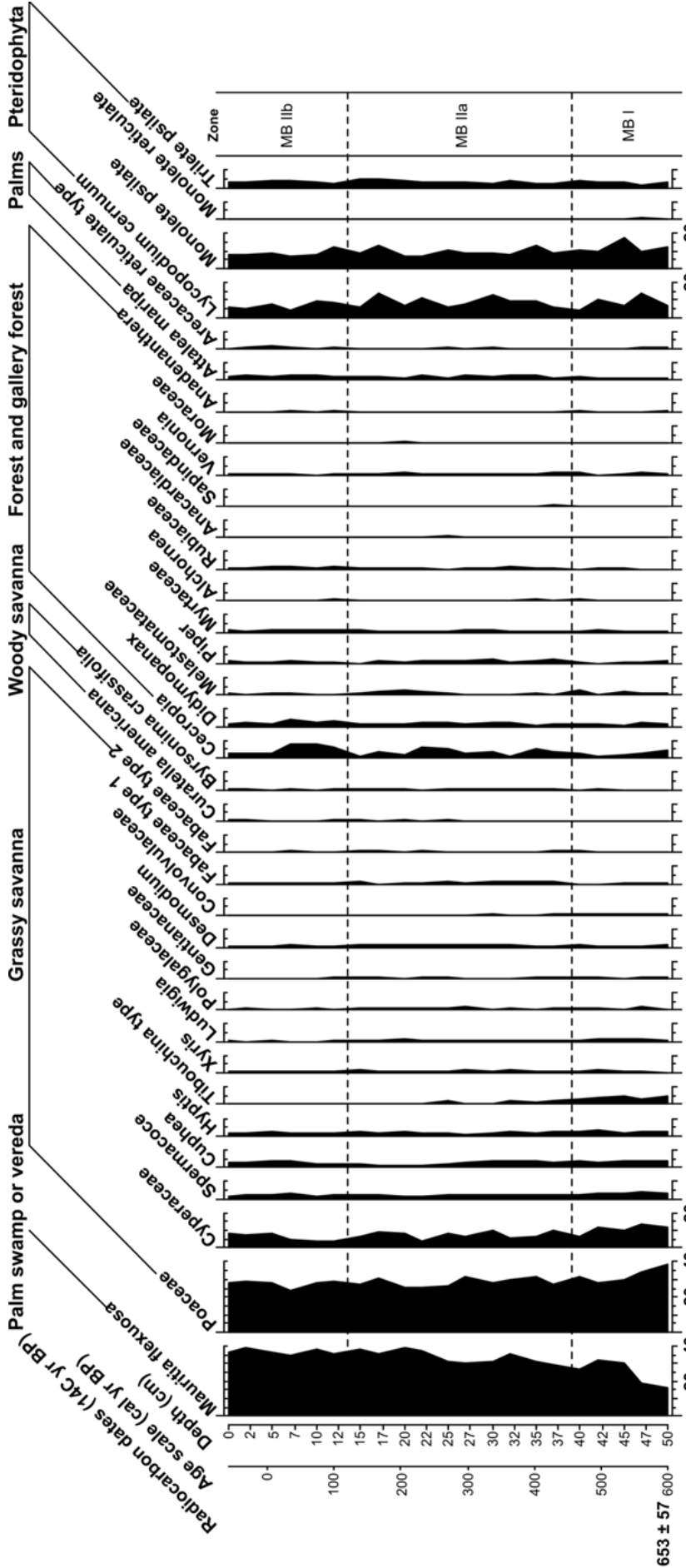


Fig. 8. Pollen percentage diagram of MB core showing the most important taxa grouped into Palm swamp or vereda, Grassy savanna, Woody savanna, Forest and gallery forest, Palms and Pteridophyta

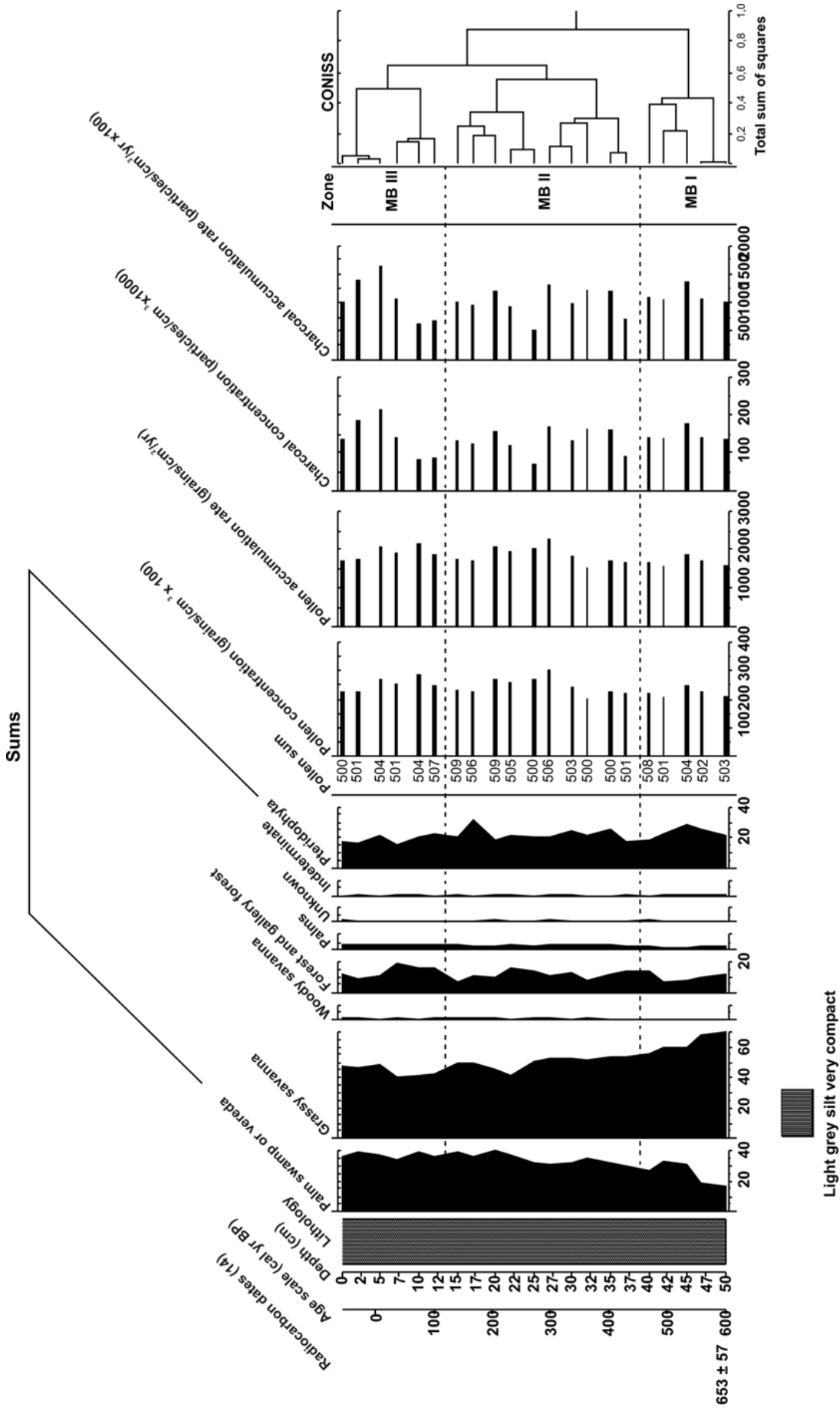


Fig. 9. Summary pollen percentage diagram of the core MB with the AMS radiocarbon dates, age scale, lithology, sums of vegetation groups, pollen and charcoal concentration as well as pollen and charcoal influx and pollen zones

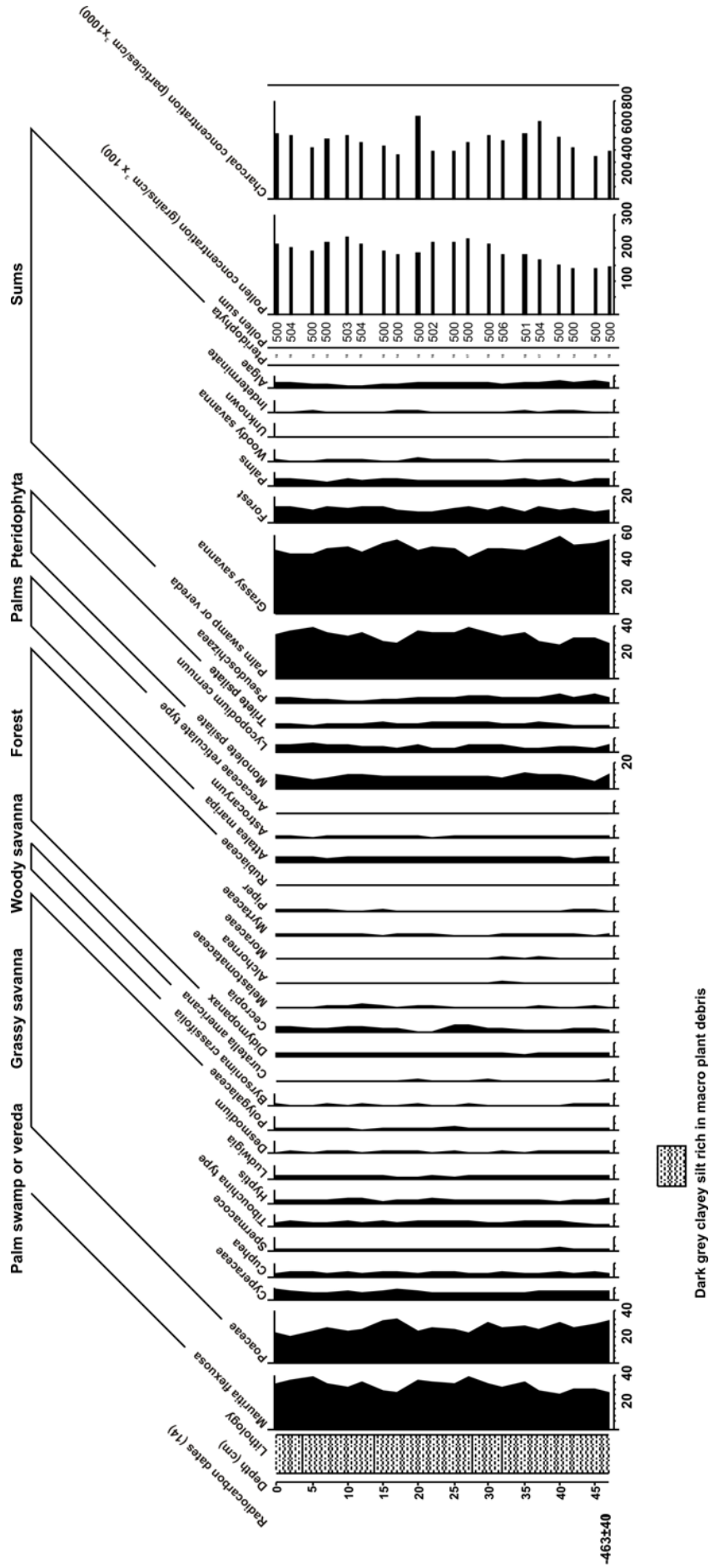


Fig. 10. Pollen percentage and summary diagram of the RU core showing the AMS radiocarbon dates, the lithology, selected pollen and spore taxa grouped into Vereda, Grassy savanna, Woody savanna, Forest, Palms and Pteridophyta, besides of pollen and charcoal concentration

5. Discussion

5.1. Environmental changes: climate, vegetation and fire dynamics

In the light of reconstructing environmental changes which occurred in the savanna-forest mosaic of the Roraima region, only AM and MB cores provided useful information, because the AMS data for RU core indicated modern deposition. On the other hand, the RU pollen assemblage represent the modern pollen rain from this site being important to relate vegetation and pollen rain behavior likewise the other modern sediment samples collected in the region of AM site.

The RU pollen results reflect the vegetation cover of a local palm swamp with abundant *Mauritia flexuosa* palms and wet soils taxa especially *Tibouchina*, *Spermacoce*, *Hyptis*, *Cuphea* and *Ludwigia*. This palm swamp is surrounded by grassy savanna with abundant Poaceae and Cyperaceae scattered by shrubs of *Curatella americana* and *Bysonima crassifolia* while the secondary forest rich in palms (*Attalea*, *Astrocaryum* and *Pyrenoglyphis*) occur in adjacent places. The charcoal particles concentration of RU sediments demonstrated that fires are frequent at the site.

The AM record ranges about 1050 cal yr BP when a *Mauritia*-dominated palm swamp started to form with an accumulation of pollen-rich organic material indicating a high water table. The lowermost part at 90-95 cm depth shows lower counts of K and Ti and higher organic matter counts suggesting less inorganic contribution. Probably, it was a *Mauritia* spring-fed swamp. Afterwards, the values of K and Ti slightly increased indicating more contribution of the *run off* from the surrounding soils into the new-formed palm swamp, becoming relatively stable in the following zone AM-II. The intercalation of fine sandy layers in the silty sand sediments evidences oscillations of energy such as alternation between fluvial and stagnant conditions or more probably, a seasonal input of surrounding sands brought into depression by torrents during episodic strong rainfall events, typical of the seasonal wet climate, similar to present-day climatic situation.

Despite coarser sediment intermixing the finer sediments matrix, the pollen grains preservation is very good in all analyzed samples and also the concentration of pollen is higher than in the following periods. A long prevailed hydromorphic environment with anoxic conditions as supported by a lower Fe/Ti ratio might have contributed to preserve the pollen grains. Furthermore, this high pollen concentration was possibly favored by a high productivity and dispersal of pollen grains during this period.

The presence of *Mauritia* pollen in the sediments is a reliable indicator of warm tropical lowland environments flooded by fresh waters (Rull 1998; Marchant et al. 2002). The

algae remains of *Botryococcus* and *Pseudoschizaea* and some aquatic taxa i.e *Nymphoides*, *Echinodorus* and *Polygonum*, even in low amounts are suggesting of a probable shallow stagnant water body like hydromorphic soils.

The pollen assemblages show that a forest, probably a gallery forest was present indicated by significant occurrence of *Virola*, *Alchornea*, Melastomataceae, Moraceae, *Protium* and Sapindaceae. *Helicteres* and *Cuphea* occurred in high frequencies corroborating wet soils. Asteraceae (probably liana types) and *Cecropia* trees were common at the borders of this forest. The high percentages of *Didymopanax* pollen suggest that a semi-deciduous forest patch (secondary forest) was in the vicinity, also supporting many of the taxa mentioned for the gallery forest (except *Virola*, *Mauritia flexuosa* and other few taxa) as recorded within modern pollen spectra. It is probable that a grass-dominated savanna occurred at the neighborhoods of the AM site.

The obtained data corroborate moist conditions during this whole period lasting from 1050 until 900 cal yr BP (Zone AM-I). The lower concentration and influx of charcoal particles into sediments suggest that fires were less frequent, but increased at the end of the period. However, is possible that fires occurred outside of the forest area and could not penetrate into it. This assumption is based on values of modern charcoal particles concentrations around the coring AM site which were higher in the savanna sites than in the forest sites.

The period from 900 to 210 cal yr BP (Zone AM – II) showed relatively lower pollen concentration compared to previous period. However, its finer sediments are potentially more favorable to pollen preservation. Hence, the low pollen concentration probably indicates a decrease of available vegetation cover. Indeed, the forest cover decreased in this period as indicated by reduced pollen of *Virola*, Melastomataceae, *Protium*, Moraceae, *Acalypha* and of all the other forest taxa including palms except *Mauritia*. The high concentration of carbonized particles shows that the fires had an important role over this period. Presumably these fires were the cause for this reduced forest cover as documented in other places in the Amazonia region (e.g. the high Rio Negro basin) where frequent fires during the Medium and Late Holocene caused the destruction of several forest types (Santos et al. 2000; Sanford et al. 1985).

The marked expansion of savanna grasses during this period might have been favored by increasing fires. Poaceae and Cyperaceae were the most important taxa from the vegetation cover. *Mauritia flexuosa* palms also increased forming a denser corridor than before. The disappearing of *Botryococcus* and aquatic taxa as *Nymphoides* and *Polygonum* of the

sediments reflected a lower water level. On the other hand, *Pseudoschizaea* remained constant along the recorded period evidencing that humidity conditions still occurred at least seasonally.

The presence of *Mauritia flexuosa* palms coupled to typical savanna swamp taxa such as *Tibouchina*, *Cuphea* and *Hyptis* suggest that a swamp existed locally in this site during this period. Because the conditions of sedimentation changed at 52 cm depth interval and the prior sandy material was replaced by finer sediments, it is possible that the environment changed to lower-energy conditions. Perhaps, the basin was isolated from regional drainage system caused by less strong rainfall occurrences or any other unknown reason. During this time, no geochemical change in the sediment was noticed indicating a constant environmental condition.

At the study MB site, this regional climatic situation was favorable to formation of a *Mauritia flexuosa* palm swamp around 600 cal yr BP. Since this period until 470 cal yr BP (Zone MB-I) the MB site supported a swamp occurrence inferred by pollen of *Spermacoce*, *Cuphea*, *Tibouchina* type, *Hyptis*, *Xyris* and *Ludwigia* and increasing *Mauritia flexuosa* palms. This palm swamp was surrounded by a treeless savanna dominated by grasses mainly Poaceae and Cyperaceae. The trees of *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia* never reached more than 2% in the pollen representation, probably affected by frequent fires as indicated by a high concentration of charred particles. A secondary forest developed relatively close to the area indicated by pollen representation of pioneer taxa such as *Cecropia*, *Didymopanax*, *Piper* and by palms like *Attalea* and Arecaceae reticulate type (probably *Pyrenoglyphis*) which are very common in disturbed settings. The forest taxa were always present, but never exceeded the maximum value of 19% of the total pollen. Notably, the fire events were very frequent with small variations throughout the past 600 years. It is plausible that these fires hampered the expansion of forest patches and the establishment of gallery trees (*Virola*, for example) as well as a successful development of shrubs or trees of the families Melastomataceae, Myrtaceae and Rubiaceae and other along the palm swamp as it is normally expected under wet climatic conditions.

This environmental situation marked by a dominant grassy savanna, crossed by dense *Mauritia flexuosa* palm swamp and surrounded by small patches of forest did not change until the present-day, as well as the fires are still intense in this area.

At the AM site, from the 210 cal yr BP until modern times (zone AM-III) the sediments became slightly darker and rich in plant debris compared to the previous periods in response to re-establishment of a perennial swamp with forest trees growing close to a

relatively small open body of water. Actually, the water level of the palm swamp apparently increased allowing the reappearing of aquatic plants and algae.

The gallery forest slightly expanded forming the current forested *Mauritia* palm swamp. The moisture requiring tree *Virola* increased in abundance, as well as other forest taxa such as *Alchornea*, Moraceae, Bignoniaceae and Melastomataceae. The increase of *Didymopanax*, and palms such as *Attalea* and Arecaceae reticulate type evidences that a secondary forest has been growing close to AM site during this period, as can be observed today. Supposedly, this modern forest island resulted from an enlargement of the *Mauritia* swamp forest towards drier soils of nearby slopes to form a patch or island as many other widespread throughout the savanna region. Such assumption is based on the similar floristical composition (except for moist taxa such as *Mauritia* and *Virola*), and geomorphological observations.

The expansion of these forests, in general could be interpreted as a signal of gradually moister conditions during the last two hundreds of years or alternatively as result of the decreasing fire frequency in the region inferred by the lowest charcoal particles concentration and influx in the uppermost samples in AM site.

The fire decline noticed especially after 500 cal yr BP is regarded as the principal reason for the expansion of secondary forests, documented in several places of tropical South America such as Ecuador (Niemann and Behling 2008), Colombia (Wille et al. 2000), Panamá (Bush and Colinvaux 1994; Bush et al. 1992) and in the southern Brazil (Behling et al. 2004; Jeske-Pieruschka et al. 2010). The reduction of fires which are assumed to be of anthropogenic origin is related to the possible collapse of the indigenous population after the arrival of European settlers (Nevle and Bird 2008; Wille et al. 2000). According to Denevan (1992) the introduction of Old World diseases by the Conquistadors contributed to such depopulation.

In the Roraima region, the earliest human occupation was dated to around 4000 cal yr BP, and the Ameridians used to be hunters and farming using the fire for clearing lands (Ribeiro 2004). The European settlers arrived in this region only after 1750 AD (200 cal yr BP). The first attempts of colonization process were based on enslavement of the indigenous people which resulted in revolts, fights and their escapes towards more inaccessible mountains refuges. Hence, a decrease of these populations and subsequently an anthropogenic fire decline is likely.

Nevertheless, the fires still occur frequently at present-day as indicated by charcoal concentration of modern and fossil sediments, but, with some variations from one place to

another. For instance, at MB and AM sites the fires are more intense than in RU site. These differences are resulting from modern land use. The AM site is located close to active cattle ranches and the MB site belongs to indigenous land where agricultural activities using simple techniques are widely practiced. In contrast, the RU site is more distant from these human inhabited places. Similarly, in a study about modern burning of the Roraima savanna, Barbosa and Fearnside (2005) demonstrated that the greatest occurrences of fires are more concentrated close to the headquarters of the cattle ranches and to indigenous villages than in other areas. According the authors, the fires in the savannas of Roraima are typically anthropogenic, because lightnings (potential cause of natural fires) in Amazonia are almost always accompanied by rain, reducing the chance of igniting a natural fire.

As no considerable climate change with prolonged dry periods is supported by our analyses, we take the stronger fires occurrence as being caused by humans rather than a natural origin. Although the decline of indigenous population might have collaborated to a decrease of the fire during the past centuries, the modern human activities such as cattle farming and agriculture are still responsible for high fire frequencies at modern times.

The comparison of charcoal concentrations of surface sediments from savanna and forested sites showed that the fire was more frequent at savanna sites than in forests (especially in the forest island). Apparently the forest cover, once present, even as narrow strips of gallery forest or small patches of forest acts as an effective buffer blocking the entrance and accumulation of charred particles into these environments.

In general our findings suggest that the recorded environmental changes from AM and MB cores are mostly related to vegetation changes which were driven much more by fire dynamics than by variations of the climatic conditions. At the both sites, the records suggest a stable wet climate indicated by persistent moisture indicator *Mauritia flexuosa* palms associated with pteridophyta and taxa characteristic of wetlands.

The wet climatic conditions have been favorable to continue establishment and development of *Mauritia* palm swamps during all recorded times until the present-day. A huge number of corridors of *Mauritia* palms are found across the savanna occupying the innumerable swamps formed by high water availability on poorly drained soils. According to Kahn (1987) the abundance of *Mauritia* is the result of an increase in precipitation. In this respect, the substantial increase of mainly *Mauritia* palms since about 4000 cal yr BP verified in Laguna Loma Linda (Behling and Hooghiemstra 2000), Laguna Las Margaritas (Wille et al. 2003) and in many other studied sites in the Llanos Orientales (Berrio et al. 2002) has been assumed as an indication of wetter conditions caused by enhanced precipitation in the region

(Marchant et al. 2001; 2002; Berrio et al. 2002). On the other hand, the increase of *Mauritia* palms during the Late Holocene is interpreted as increased human activity by use of fires (Behling and Hooghiemstra 1998, 1999, 2000).

In the Roraima region human impacts are clearly reflected in the forest islands which are poor in species due to past and modern human activities. The abundance of *Didymopanax* growing into forest with an open canopy may evidence human impact on the vegetation by slash and burn activities (Behling and Costa 2000; Marchant et al. 2002), even in places where agricultural activities are rare or absent. The constant presence of the short-lived pioneer *Cecropia* reinforces the disturbed character of this forest as well as the large number of palms of *Attalea* and other *Arecaceae* types. These anthropogenic impacts are responsible by the forests impoverishment. On the other hand, it is reasonable that the savanna fires do not enter easily into the forest as occur in the savanna areas, because of the lack of sufficient flammable biomass (grasses) which after the introduction of the cattle is normally grazed. Therefore, the fire is thought to be one of the principal reasons for maintaining the modern sharp boundaries between the forests and savanna. The pioneer trees species growing into the savanna probably do not tolerate fire (e.g. *Bowdichia virgilioides*). Consequently, frequent fires should hamper the forest expansion. Additionally, the occurrence of extremely sandy soils under hydromorphic conditions occurring at the surrounding of the forest areas (including the margins of the palm swamps) could be working as another possible barrier to settlement of forest trees species.

Our results revealed that conditions of humidity prevailed during the last 1050 years, which is in accordance with the sedimentological studies carried out in the Lake Caracaranã showing wetter climate since the last 2000 years (Simões Filho 2000). Also trend of a Late Holocene forest expansion inferred by isotopic data from a site close to Boa Vista city (Desjardins et al. 1996) is supported by this present study. However, this approach should be added to further multi-proxy studies, extending to other ecotonal areas, because each place displays a peculiar rhythm of development.

6. Conclusions

The modern pollen spectra in the Roraima savanna, *Mauritia* swamp forest and semi-deciduous forest island ecosystems, are clearly discernible from each other at a local scale. Few pollen grains are found outside their producing community. While the savanna pollen spectrum is easily differentiated of those from the forests, the distinction between the *Mauritia* swamp forest and semi-deciduous forest ecosystems is more difficult, whereas

several taxa are common to both ecosystems. However, the exclusive or higher occurrence of some taxa such as wet taxa such as *Mauritia*, *Virola* and *Macrolobium* (*Mauritia* swamp forest) and the palms *Attalea*, the Areaceae reticulate type (forest island) in each environment permits a distinction. Thus, the pollen rain data allowed the reconstruction of vegetation changes for the last 1050 cal yr BP.

The integrated pollen and sedimentological records show that wet conditions prevailed during all the studied period at all AM, MB and RU sites. The persistent *Mauritia flexuosa* palm swamps implies wet soils promoted by high rainfall rates with probably short dry season (4 months on average) similarly to the present-day situation. Despite these moisture conditions, fires of anthropogenic origin were always frequent and markedly influenced the vegetation development of this savanna-forest mosaic in the northern portion of Roraima region. These fires probably hampered a wider forest expansion and together with cattle farming also maintain the current sharp boundaries between savanna and forests areas. Supposedly, the occurrence of poor and hydromorphic soils in the adjacent areas, should not support the installation of forest trees on these sandy soils rich only in quartz and then avoid the forest expansion.

In spite of the data provided by this project and other previous studies carried out in this region, the diversity of environments and features found across the savanna, forest formations and ecotonal areas requires more investigations, in order to identify accurately the mechanisms that built this regional landscape and the environmental changes which presumably occurred. It is extremely necessary to accomplish multi-proxy studies in other localities of this region in Roraima which will allow distinctions between local effects and regional trends related to human impact and mainly to climatic changes.

Acknowledgements

The authors are grateful to the CNPq that conceded a scholarship to the first author and also provided a research productivity scholarship to the second author. We thank DAAD for financial support during first author's stage work in Göttingen, Germany for pollen and charcoal analysis. Thanks are also to Bernd Zolitschka (Institute of Geography, University of Bremen) that kindly provided access to the XRF scanner.

References

Absy ML (1979) A Palynological Study of Holocene Sediments in the Amazon Basin. Ph.D. thesis, University of Amsterdam

Barbosa RI, Fearnside PM (2005) Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. *Forest Ecol Manag* 204: 371–384

Behling H (2002a) Carbon storage increases by major forest ecosystems in tropical South America since the Last Glacial Maximum and the Early Holocene. *Global Planet Change* 33: 107-116

Behling H (2002b) Late Quaternary vegetation and climate dynamics in southeastern Amazonia interfered from Lagoa da Confusão in Tocantins State, northern Brazil. *Amazoniana* 17: 27-39

Behling H, Costa ML (2000) Holocene environmental changes from the Rio Curuá record in the Caxiuanã region, eastern Amazon basin. *Quatern Res* 53: 369-377

Behling H, Hooghiemstra H (1998) Late Quaternary palaeoecology and palaeoclimatology from pollen records of the savannas of the Llanos Orientales in Colombia. *Palaeogeogr Palaeoclim Palaeoecol* 139: 251-267

Behling H, Hooghiemstra H (1999) Environmental history of the Colombian savannas of the Llanos Orientales since the Last Glacial Maximum from lake records El Pinal and Carimagua. *J Paleolimnol* 21: 461-476

Behling H, Hooghiemstra H (2000) Holocene Amazon rain forest – savanna dynamics and climatic implications: High resolution pollen record Laguna Loma Linda in eastern Colombia. *J Quatern Sci* 15: 687–695

Behling H, Hooghiemstra H (2001) Neotropical savanna environments in space and time: late Quaternary interhemispheric comparisons. In: Markgraf V. (Ed.), *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press, San Diego, USA, pp. 307–324

Behling H, Negrelle RRB (2006) Vegetation and Pollen Rain Relationship from the Tropical Atlantic Rain Forest in Southern Brazil. *Braz arch biol technol* 49: 631-642

Behling H, Pillar V, Orloci L, Bauermann SG (2004) Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. *Palaeogeogr Palaeoclim Palaeoecol* 203: 277–297

Berrio JC, Hooghiemstra H, Behling H, Van der Borg, K (2000) Late Holocene history of savanna gallery forest from Carimagua area, Colombia, *Rev Palaeobot Palynol* 111: 295–308

Berrio JC, Hooghiemstra H, Behling H, Botero P, Van der Borg K (2002) Late-Quaternary savanna history of the Colombian Llanos Orientales from Lagunas Chenevo and Mozambique: a transect synthesis. *Holocene* 12: 35-48

Bleackley D (1963) Observations on the white-Sand areas of the Berbice Formation, British Guiana. *J Soil Sci* 14: 1-15

Brunschön C, Haberzettl T, Behling H (2010) High-resolution studies on vegetation succession, hydrological variations, anthropogenic impact and genesis of a subrecent lake in southern Ecuador. *Veget Hist Archaeobot*. doi 10.1007/s00334-010-0236-4

- Burbridge RE, Mayle FE, Killeen TJ (2004) Fifty-thousand-year vegetation and climate history of Noel Kempff Mercado National Park, Bolivian Amazon. *Quatern Res* 61: 215–230
- Bush MB, Colinvaux PA (1994) A paleoecological perspective of tropical forest disturbance: records from Darién, Panama. *Ecology* 75: 1761–68
- Bush MB, Piperno DR, Colinvaux PA, De Oliveira PE, Krissek LA, Miller MC, Rowe WE (1992) A 14,300 year paleoecological profile of a lowland tropical lake in Panama. *Ecol Monogr* 62: 251–75
- Bush MB, Miller MC, De Oliveira PE, Colinvaux PA (2002) Orbital-forcing signal in sediments of two Amazonian lakes. *J Paleolimnol* 27: 341–352
- Carneiro Filho A (1991) Contribution to the study of the forest-savanna mosaic in the area of Roraima, northern Amazon basin, Brazil. Geopedologic. approach. Master's Thesis, University of Enschede
- Colinvaux PA, De Oliveira PE, Moreno PJE (1999) Amazon Pollen Manual and Atlas. Harwood Academic Publishers, Amsterdam
- Colinvaux PA, De Oliveira PE, Moreno JE, Miller MC, Bush MB (1996) Along pollen record from lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science* 247: 85-88
- Colinvaux PA, De Oliveira PE, Bush MB (2000) Amazon and Neotropical plant communities on glacial time scales: the failure of the aridity and refuge hypotheses. *Quat. Sci. Rev* 19: 141-169
- Croudace IW, Rindby A, Rothwell RG (2005) ITRAX: description and evaluation of a new X-ray core scanner. In: Rothwell RG (ed) *New techniques in sediment core analysis*. Geol Soc, London, pp 51–63
- Denevan WM (1992) The pristinemyth: the landscape of the Americas in 1492. *Ann Assoc Am Geogr* 82: 369–385
- Desjardins T, Filho A, Mariotti A, Chauvel A, Girardin C (1996) Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene revealed by stable isotope ratios of soil organic carbon. *Oecologia* 108: 749–756
- Enters D, Kirilova E, Lotter AF, Lücke A, Parplies J, Jahns S, Kuhn G, Zolitschka B (2010). Climate change and human impact at Sacrower See (NE Germany) during the past 13,000 years: a geochemical record. *J Paleolimnol* 43: 719-737.
- Faegri K, Iversen J (1989) *Textbook of Pollen Analysis*. Wiley, Chichester, United Kingdom
- Ferraz-Vicentini KR, Salgado-Labouriau ML (1996) Palynological analysis of a palm swamp in central Brazil. *J S Am Earth Sci* 9: 207-219
- Freitas HA, Pessenda LCR, Aravena R, Gouveia SEM, De Souza Ribeiro A, Boulet R (2001) Late Quaternary vegetation dynamics in the southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter. *Quatern Res* 55: 39–46

- Gaudette HE, Olszewski JRWJ, Santos JOS (1996) Geochronology of Precambrian rocks from the northern part of Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. *J S Am Earth Sci* 9:183-195
- Gosling WD, Mayle FE, Tate NJ, Killeen T (2005) Modern pollen-rain characteristics of tall terra firme moist evergreen forest, southern Amazonia. *Quatern Res* 64: 284–297
- Grimm EC (1987) CONISS: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. *Comp Geosci* 13: 13–35
- Haberle SG, Maslin MA (1999) Late Quaternary vegetation and climate change in the Amazon basin based on a 50,000 year pollen record from the Amazon fan, PDP site 932. *Quatern Res* 51: 27-38
- Haffer J (1969) Speciation in Amazonian forest birds. *Science* 165: 131-137
- Hills TL, Randall E (Eds.) (1968) *The Ecology of the Forest-Savanna Boundary*, McGill University, Savanna Research Series Vol. 13. 1–128
- Jeske-Pieruschka V, Fidelis A, Bergamin RS, Vélez E, Behling H (2010) Araucaria forest dynamics in relation to fire frequency in southern Brazil based on fossil and modern pollen data. *Rev Palaeobot Palynol* doi:10.1016/j.revpalbo.2010.01.005
- Kahn F (1987) The distribution of palms as a function of local topography in Amazonian terra-firme forests. *Experientia* 43: 251-259
- Marchant RA, Behling H, Berrío JC, Cleef A, Duivenvoorden J, Van Geel B, Van der Hammen T, Hooghiemstra H, Kuhry P, Melief BM, Van Reenen G, Wille M (2001) Mid to Late-Holocene pollen-based biome reconstructions for Colombia. *Quat Sci Rev* 20: 1289 – 1308
- Marchant R, Almeida L, Behling H et al (2002) Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Rev Palaeobot Palynol* 121: 1–75
- Mayle FE, Burbridge RE, Killeen TJ (2000) Millennial-scale dynamics of southern Amazonian rain forests. *Science* 290: 2291–2294
- Miranda IS (1998) *Flora, fisionomia e estrutura das savanas de Roraima, Brasil*. Tese de Doutorado. INPA / Universidade do Amazonas
- Miranda IS, Absy ML (1997) A flora fanerogâmica das savanas de Roraima. In: Barbosa RI, Ferreira EJJ, Castellón EG (Eds) *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*, INPA, Manaus, pp. 445–462
- Miranda IS, Absy ML (2000) Fisionomia das savanas de Roraima, Brasil. *Acta Amazônica*, 30 (3): 423-440
- Nevle RJ, Bird DK (2008) Effects of syn-pandemic fire reduction and reforestation in the tropical Americas on atmospheric CO₂ during European conquest. *Palaeogeogr Palaeoclim Palaeoecol* 264: 25–38

Niemann H, Behling H (2008) Late Quaternary vegetation, climate and fire dynamics inferred from the El Tiro record in the southeastern Ecuadorian Andes. *J Quatern Sci* 23: 203–212

Nimer E (1991) Clima. In: *Geografia do Brasil: Região Norte*. IBGE, Rio de Janeiro, pp. 61–71

Pessenda LCR, Gomes BM, Aravena R, Ribeiro AS, Boulet R, Gouveia SEM (1998) The carbon isotope record in soils along a forest-cerrado ecosystem transect: implication for vegetation changes in Rondônia State, southwestern Brazilian Amazon region. *The Holocene* 8: 631-635

Ribeiro PAM (1997) Arqueologia em Roraima: histórico e evidências de um passado distante. In: Barbosa RI, Ferreira EJG, Castellon EG (eds). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. INPA. Manaus, pp. 3-24

Roubik DW, Moreno JE (1991) Pollen and spores of Barro Colorado Island. *Missouri Botanical Garden*

Rull V (1992) Successional patterns of the Gran Sabana (southeastern Venezuela) vegetation during the last 5000 years, and its responses to climatic fluctuations and fire. *J Biogeogr* 19: 329-338

Rull V (1998) Biogeographical and evolutionary considerations of *Mauritia* (Arecaceae), based on palynological evidence. *Rev Palaeobot Palynol* 100: 109-122

Rull V (1999) A palynological record of a secondary succession after fire in the Gran Sabana, Venezuela. *J Quatern Sci* 14: 137-152

Salgado-Labouriau ML (1973) *Contribuição à palinologia dos cerrados*. Editora Academia Brasileira Ciências, Rio de Janeiro

Sanford RL, Saldarriaga J, Clark KE, Uhl K, Herrera R (1985) Amazon Rain-Forest Fires. *Science* 227: 53-55

Santos GM, Gomes PRS, Anjos RM, Cordeiro RC, Turcq BJ, Sifeddine A, Di Tada ML, Cresswell RG, Fifield LK (2000) ^{14}C AMS dating of fires in the central Amazon rain forest. *Nucl Instrum Methods* 172: 761-766

Sarmiento G, Monasterio M (1975) A critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystems in tropical America. In: Golley FB, Medina E (eds). *Tropical Ecological Systems; Trends in Terrestrial and Aquatic Research*, Springer-Verlag, Berlin. pp 223–250

Schaefer CER, Dalrymple J (1996) Pedogenesis and relict properties of soils with columnar structure from Roraima, north Amazonia. *Geoderma* 71: 1-17

Sette Silva EL (1993) Inventário preliminar das espécies arbóreas das florestas dos arredores de Boa Vista (Roraima) – Uma abordagem fitossociológica. Dissertação de Mestrado. INPA/ Universidade do Amazonas

Simões Filho FFL (2000) Sedimentação lacustre e implicações paleoambientais na região de contato floresta-savana de Roraima durante o Holoceno. Tese de doutorado. Universidade Federal Fluminense

Stuiver M, Reimer P (1993) Extended ^{14}C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon* 35:215–230

Van der Hammen T, Absy ML (1994) Amazonia during the last glacial. *Palaeogeogr Palaeoclim Palaeoecol* 109: 247–261

Wijmstra TA, Van der Hammen T (1966) Palynological data on the history of tropical savannas in northern South America. *Leidse Geol. Med* 38: 71-90

Wille M, Negret JA, Hooghiemstra H (2000) Paleoenvironmental history of the Popayan area since 2700 yr BP at Timbio, Southern Colombia. *Rev Palaeobot Palynol* 109: 45-63

Wille M, Hooghiemstra H, Van Geel B, Behling H, Jong A, Van der Borg K (2003) Submillennium-scale migrations of the rainforest-savanna boundary in Colombia: ^{14}C wiggle-matching and pollen analysis of core Las Margaritas. *Palaeogeogr Palaeoclim Palaeoecol* 193: 201-223

Whitemore TC, Prance GT (1987) *Biogeography and Quaternary History in Tropical America*. Oxford University Press, Oxford, 214 pp

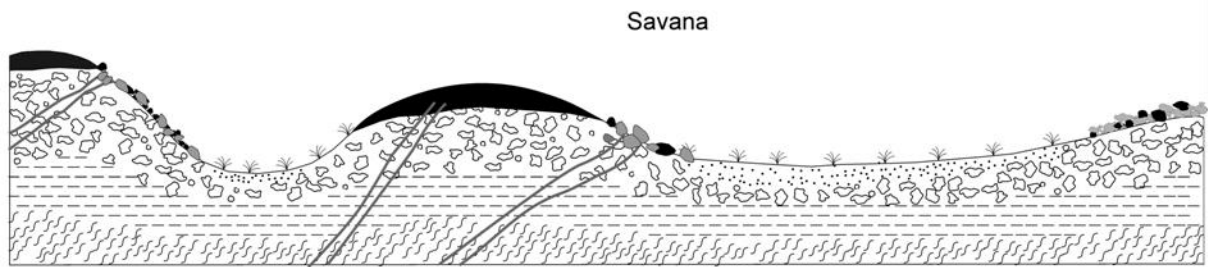
7 CONCLUSÕES

A paisagem de transição savana-floresta encontrada no norte do estado de Roraima é marcada por um complexo mosaico de savanas graminosas e/ou arbóreas, recortadas por extensas veredas de *Mauritia flexuosa* embutidas ou não em corredores de matas de galerias, e pontilhadas por ilhas de florestas, além de uma ampla paisagem lacustre e brejosa, o que é condizente com as atuais condições climáticas quentes e úmidas prevalentes na região. Entretanto, essa paisagem guarda ainda em seu contexto, feições pedo-geomorfológicas herdadas de condições climáticas pretéritas adversas, a exemplo das linhas de pedras comumente encontradas na região, formadas por fragmentos de materiais lateríticos e quartzo de veios. Os registros palinológicos e cronológicos obtidos a partir dos sedimentos de veredas aliados às características granulométricas, mineralógicas e químicas destes e das demais coberturas regolíticas dessa área possibilitaram pontuar importantes transformações de caráter ecológico, geomorfológico e pedológico ao longo de sua histórica geológica recente, indicando que a principal força motriz foram as mudanças climáticas. Com base nestes dados, em observações de campo e ainda em informações obtidas por estudos anteriores de áreas relativamente próximas à área de estudo (Absy *et al.* 1997; Simões Filho 2000) tornou-se possível estabelecer um modelo esquemático de evolução para esta paisagem com o reconhecimento de três fases distintas (Fig. 10).

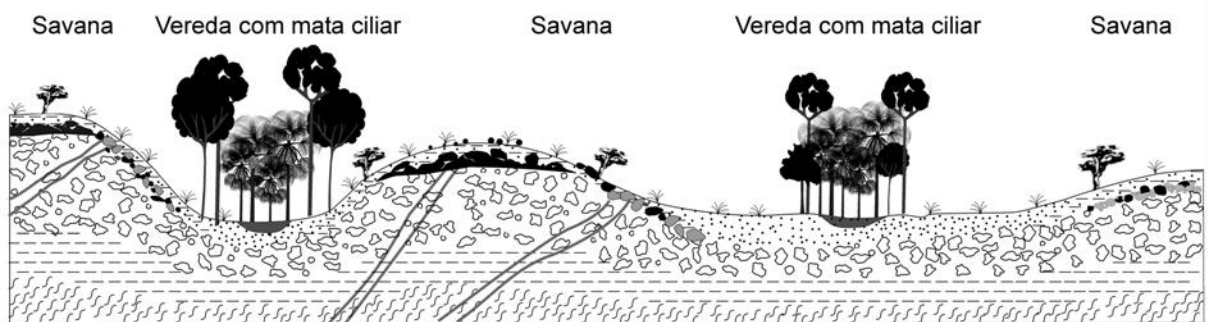
FASE 1: PLEISTOCENO/Holoceno

A presença de várias linhas de pedras formadas por fragmentos de quartzo e de oxihidróxidos de Fe (OHFe) de crostas lateríticas na região permite deduzir que a formação da paisagem estudada relaciona-se aos ciclos erosivos impulsionados por climas secos (pleistocênicos ou quiçá anteriores) que causaram progressivamente o rebaixamento da topografia pela destruição das crostas lateríticas estabelecidas sobre rochas como xistos, gnaisses e quartzitos com veios de quartzo, parcialmente intemperizadas. Assim, a desagregação mecânica desses materiais gerou depósitos que foram se acumulando ao longo das vertentes cobertas por uma vegetação provavelmente rarefeita em função do clima seco. Estudos sedimentológicos realizados no lago Caracaranã (extremo leste do Estado de Roraima) sugeriram que as condições climáticas secas na região se estenderam do Pleistoceno até ao Holoceno Médio (5.000 anos AP), porém, intercaladas por um breve período de umidade ocorrido no Holoceno Inferior, que permitiu a formação do referido lago, por volta de 9.7 mil anos AP (Simões Filho 2000).

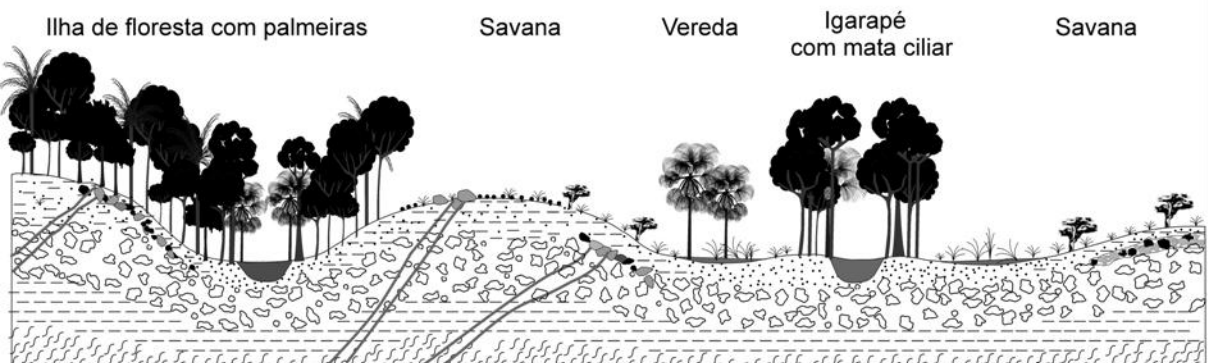
Pleistoceno /Holoceno



Holoceno Tardio (2000 anos AP)



Atual



Legenda

	Sedimento fino escuro		Lag (esferolitos de oxi-hidróxidos de Fe e fragmentos de quartzo)
	Solo arenoso esbranquiçado		Linhas de pedras compostas por fragmentos de quartzo e de crostas lateríticas
	Solo areno-siltico amarelado		Veios de quartzo
	Crosta laterítica ferruginosa		
	Saprólito areno-siltico-argiloso mosqueado		
	Saprólito areno-siltico pálido		
	Rocha mãe (gnaises, quartzitos e xistos)		

Figura 10 - Modelo esquemático de evolução da paisagem de transição savana-floresta estudada, segundo o tempo geológico, desde o Pleistoceno até o momento atual.

FASE 2: HOLOCENO TARDIO

O amplo surgimento de veredas com sedimentos finos e orgânicos em suas calhas evidenciam a chegada de um clima úmido à região no Holoceno Tardio, especialmente a partir de 2000 anos AP, identificado também na sucessão sedimentar do lago Caracaranã que registrou uma subida no nível de suas águas (Simões Filho 2000), e com base nas idades das veredas (1550 anos AP) obtidas no presente trabalho. O aumento das precipitações elevou o nível do lençol freático que ao aflorar na superfície permitiu a instalação das veredas de buritis ao longo das trilhas de umidade. Essas condições úmidas também proporcionaram o surgimento das centenas de lagos encontrados ao longo de toda a região de savanas de Roraima como mostra Absy *et al.* (1997) e Meneses *et al.* (2007). A grande maioria não contém sedimentos em suas bacias sugerindo se tratar de corpos hídricos muito jovens (Meneses *et al.* 2007).

As assembléias polínicas identificadas na base das veredas FC (1550 anos AP) e AM (1050 anos AP) atestam a chegada de florestas, principalmente ciliares se desenvolvendo logo no início da instalação das veredas. A persistência de tipos arbóreos como *Virola*, *Alchornea*, *Protium*, Melastomataceae, Moraceae e Myrtaceae ao longo dos testemunhos, mostra que no decorrer dos últimos 1550 anos AP (FC) e 1050 anos AP (AM), houve uma constante tendência de expansão destas florestas sobre as savanas favorecidas pela farta disponibilidade hídrica nos solos, como indicam as também expansivas veredas de *Mauritia flexuosa* nestes ambientes. No entanto, apesar dessas condições úmidas, ocorreu uma redução da cobertura florestal por volta de 1400-1100 anos (vereda FC), 900-200 anos (veredas AM e FC) e entre 700 e 300 anos (vereda TIA) em favor da expansão de savanas dominadas por Poaceae e Cyperaceae. Esse recuo das florestas é atribuído à atuação de fogos (possivelmente antrópicos), inferidos pelo aumento da quantidade de partículas de carvão nos sedimentos durante esses períodos.

Diante destas condições úmidas os processos de intemperismo químico e bioquímico tornaram-se preponderantes. E assim, os depósitos associados à morfogênese mecânica, que durante a fase anterior, de clima seco, estavam sendo deslocados por gravidade e ação das enxurradas para os vales, constituindo um pavimento detrítico foram interrompidos em sua marcha, vertentes abaixo e cobertos por solos formados *in situ* (elúvio) e/ou por material mais fino, alóctone, carregado por *run off* a partir de áreas mais elevadas, originando assim as linhas de pedras conforme modelo proposto por Ab'Saber (1962). Frente a estas condições de umidade as crostas lateríticas e os horizontes mosqueados passaram a sofrer degradação química dando origem a pacotes de solos amarelados, areno-sílticos e concrecionários compostos por caulinita principalmente, além de quartzo.

FASE 3: ATUAL

A alta concentração das partículas carbonizadas nos sedimentos superficiais dos brejos das savanas e em parte das veredas demonstra que os fogos ainda hoje são muito frequentes na região. E, a despeito dessa moderna e ampla ocorrência de fogos, verificou-se uma nítida recuperação das florestas ao longo dos últimos 300-200 anos AP na maioria dos ambientes pesquisados indicada pelo aumento dos grãos de pólenes de tipos arbóreos como *Virola*, *Alchornea*, *Protium*, Melastomataceae, Moraceae, Myrtaceae e *Didymopanax* e da palmeira *Attalea*. Estes dois últimos indicando o caráter secundário dessas florestas. Esta expansão de florestas reflete possivelmente um aumento nas taxas de precipitação e/ou o encurtamento da estação seca.

Esta maior permanência de umidade na superfície, promovida provavelmente pelo aumento da precipitação pluviométrica, tem proporcionado o amplo desenvolvimento das veredas que se formam continuamente ao longo das savanas, a exemplo da vereda RU de idade moderna. O aumento do volume hídrico canalizado pelas veredas pode ter contribuído para a evolução desses ambientes brejosos para cursos d'água perenes (igarapés) com a instalação de mata de galeria em suas bordas, em associação, e posterior substituição às palmeiras de buritis como é o caso das veredas FC, AM e TIA. Formam-se corredores florestais, que uma vez instalados, vão se tornando cada vez mais largos, à medida que se prolongam lateralmente a partir dos vales em direção às encostas do relevo de anfiteatros, albergando áreas cada vez maiores, originando assim, grandes retalhos ou ilhas de floresta em meio à savana remanescente. Essa tendência natural pode estar sendo impedida ou retardada em alguns locais devido à ação antrópica moderna que por meio do fogo mantém bem definido os limites entre as florestas e savanas.

Nas áreas mais planas e deprimidas da paisagem o afloramento do lençol freático gera o surgimento de extensas áreas brejosas que provavelmente impedem o alargamento lateral dos corredores de florestas ciliares. Nesses ambientes, os solos amarelos areno-sílticos são transformados gradativamente em areias quartzosas esbranquiçadas tipo espodossolos acarretando no recuo dos interflúvios. O escoamento superficial e as condições de encharcamento temporário promovem processos de lixiviação e iluviação responsáveis pela iluviação e remobilização dos minerais de argila e conseqüente enriquecimento em quartzo.

Portanto, as características texturais, mineralógicas e químicas da cobertura regolítica assim como os registros cronológicos e palinológicos dos sedimentos das veredas revelam que a região investigada experimentou transformações marcantes em sua paisagem fomentadas por fortes mudanças climáticas passando de semi-árido no Pleistoceno Tardio e Holoceno Médio para úmido a partir do Holoceno Tardio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber A. N. 1962. Revisão dos conhecimentos sobre o horizonte subsuperficial de cascalhos inhumados do Brasil oriental. *Notícia Geomorfológica*, 11: 59-80.
- Ab'Saber A. N. 1977. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul por ocasião dos períodos glaciais quaternários. *Paleoclimas*, 3: 1-19.
- Ab'Saber A.N. 1989. Geomorfologia de Roraima. Relatório do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA.
- Absy M. L. 1979. A Palynological Study of Holocene Sediments in the Amazon Basin. Ph.D. thesis, University of Amsterdam, The Netherlands. 112 p.
- Absy M.L. 1982. Quaternary palynological studies in the Amazon basin. In: Prance, G. Ed., *Biological Diversification in the Tropics*. Columbia Univ. Press, New York, p. 67-73.
- Absy M.L., Cleef A.L.M., Fournier M., Martin L., Servant M., Sifeddine A., da Silva M.F., Soubi s F., Suguio K., Turcq B., Van der Hammen T. 1991. Mise en évidence de quatre phase d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 derni res années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. *C.R. Académie Science Paris*, 312: 673-678.
- Absy M.L., Prance G.T., Servant M.E., Miranda I.S. 1997. Registros Palinológicos em sedimentos do Holoceno e vegetação atual em Roraima. In: Barbosa R.I., Ferreira E.J.G., Castellón E.G. (Eds). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, AM, p.: 463-480.
- Anhuf D., Ledru M.P., Behling H., Da Cruz Jr F.W., Cordeiro R.C., Van der Hammen T., Karmann I., Marengo J.A., De Oliveira P.E., Pessenda L., Siffedine A., Albuquerque A.L., Silva Dias P.L. 2006. Paleo-environmental change in Amazonian and African rainforest during the LGM. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 239, 510-527.
- Araújo G.M., Barbosa A. A. A., Arantes A. A., Amaral A. F. 2002. Composição florística de veredas no Município de Uberlândia, MG. *Revista Brasil. Bot.*, 25: 475-493.
- Balee W. 1989. The culture of Amazonian forests. *Adv. Econ. Bot.*, 7: 1-21.
- Barberi M., Salgado-Labouriau M. L., Suguio K. 2000. Paleovegetation and paleoclimate of "Vereda de Águas Emendadas", central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 13: 241-254.
- Barbosa O. & Ramos J.R. 1959. Território de Rio Branco, aspectos principais da geomorfologia da geologia e das possibilidades minerais de sua zona setentrional. *Bol. Div. Geol. Miner.*, 196: 1-49.
- Barbosa R.I. 1997. Distribuição das chuvas em Roraima. In: Barbosa R.I., Ferreira E.J.G., Castellon E.G. (Eds) *Homem, Ambiente e Ecologia em Roraima*, INPA, Manaus, AM, p.: 325-335.

- Barbosa R. I. & Fearnside P. M. 2005. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, **204**: 371–384.
- Behling H. 2002a. Carbon storage increases by major forest ecosystems in tropical South America since the Last Glacial Maximum and the Early Holocene. *Global and Planetary Change*, **33**: 107-116.
- Behling H. 2002b. Late Quaternary vegetation and climate dynamics in southeastern Amazonia interfered from Lagoa da Confusão in Tocantins State, northern Brazil. *Amazoniana*, **17**: 27-39.
- Behling H. & Costa M.L. 2000. Holocene environmental changes from the Rio Curuá record in the Caxiuanã region, eastern Amazon basin. *Quaternary Research*, **53**: 369-377.
- Behling H. & Lichte M. 1997. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical Southeastern Brazil. *Quaternary Research*, **48**: 348–358.
- Behling H. & Hooghiemstra H. 1998. Late Quaternary palaeoecology and palaeoclimatology from pollen records of the savannas of the Llanos Orientales in Colombia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **139**: 251-267.
- Behling H. & Hooghiemstra H. 1999. Environmental history of the Colombian savannas of the Llanos Orientales since the Last Glacial Maximum from lake records El Pinal and Carimagua. *Journal of Palaeolimnology*, **21**: 461-476.
- Behling H. & Hooghiemstra H. 2000. Holocene Amazon rain forest – savanna dynamics and climatic implications: High resolution pollen record Laguna Loma Linda in eastern Colombia. *Journal of Quaternary Sciences*, **15**: 687–695.
- Behling H. & Hooghiemstra H. 2001. Neotropical savanna environments in space and time: late Quaternary interhemispheric comparisons. In: Markgraf, V. (Ed.), *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press, San Diego, USA, p.: 307–324.
- Behling H., Hooghiemstra H., Negret A.J. 1998. Holocene History of the Chocó Rain Forest from Laguna Piusbi, Southern Pacific Lowlands of Colombia. *Quaternary Research*, **50**: 300–308.
- Behling H., Berrío J.C., Hooghiemstra H. 1999. Late Quaternary pollen records from the middle Caqueta river basin in central Colombian Amazon. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **145**: 193-213.
- Behling H., Keim G., Irion, G., Junk W., Nunes de Mello J. 2001. Holocene environmental changes in the Central Amazon Basin inferred from Lago Calado. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **173**: 87-101.
- Behling H., Pillar V., Orloci L., Bauermann S. G. 2004. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **203**: 277–297.

- Behling H. & Negrelle R. R. B. 2006. Vegetation and Pollen Rain Relationship from the Tropical Atlantic Rain Forest in Southern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **49**: 631-642.
- Berrio J. C., Hooghiemstra H., Behling H., Van der Borg K. 2000. Late Holocene history of savanna gallery forest from Carimagua area, Colombia, *Review of Palaeobotany and Palynology* **111**: 295–308.
- Berrio J.C., Hooghiemstra H., Behling H., Botero P., Van der Borg K. 2002. Late-Quaternary savanna history of the Colombian Llanos Orientales from Lagunas Chenevo and Mozambique: a transect synthesis. *Holocene*, **12**: 35-48.
- Bleackley D. 1963. Observations on the white-Sand areas of the Berbice Formation, British Guiana. *Journal of Soil Science*, **14**: 1-15.
- Boaventura R.S. 1978. *Estudo das veredas da Serra do Cabral CETEC*. Belo Horizonte.
- Brunschön C., Haberzettl T., Behling H. 2010. High-resolution studies on vegetation succession, hydrological variations, anthropogenic impact and genesis of a subrecent lake in southern Ecuador. *Veget Hist Archaeobot*, DOI 10.1007/s00334-010-0236-4.
- Burbridge R.E., Mayle F.E., Killeen T.J. 2004. Fifty-thousand-year vegetation and climate history of Noel Kempff Mercado National Park, Bolivian Amazon. *Quaternary Research*, **61**: 215–230.
- Bush M.B. & Colinvaux P.A. 1994. A paleoecological perspective of tropical forest disturbance: records from Darién, Panama. *Ecology*, **75**: 61–68.
- Bush M.B., Weimann M., Piperno D.R., Liu K.-B., Colinvaux P.A. 1990. Late Pleistocene temperature depression and vegetation change in Ecuadorian Amazonia. *Quaternary Research*, **34**: 330-345.
- Bush M.B., Piperno D.R., Colinvaux P.A., De Oliveira P.E., Krissek L.A., Miller M.C., Rowe W.E. 1992. A 14,300 year paleoecological profile of a lowland tropical lake in Panama. *Ecological Monographs*, **62**: 251–75.
- Bush M. B., Miller M.C., De Oliveira P.E., Colinvaux P.A. 2002. Orbital-forcing signal in sediments of two Amazonian lakes. *Journal of Paleolimnology*, **27**: 341–352.
- Bush M.B., De Oliveira P.E., Colinvaux P.A., Miller M.C., Moreno J.E. 2004. Amazonian paleoecological histories: one hill, three watersheds. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **214**: p.359– 393.
- Carneiro Filho A. 1991. Contribution to the study of the Forest-Savanna mosaic in the area of Roraima, northern Amazon basin, Brazil. Geopedologic. approach. Master's Thesis, University of Enschede, The Netherlands. 116p.
- Carneiro Filho A., Tatum H. S., e M. 2003. Dunas fósseis na Amazônia. *Ciência Hoje*, **32**: 24-29.

- Carvalho P.G.S. 1991. As Veredas e sua importância no domínio dos cerrados. *Informe Agropecuário*, **168**: 47-54.
- Cavelier J., Aide T.M., Santos C., Eusse A.M., Dupuy J.M. 1998. The savannization of moist forests in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Journal of Biogeography*, **25**: 901-912.
- Colinvaux P.A., De Oliveira P.E., Moreno J.E., Miller M.C., Bush M.B. 1996. A long pollen record from lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science*, **247**: 85-88.
- Colinvaux P., De Oliveira P. E., Moreno P.J.E. 1999. *Amazon Pollen Manual and Atlas*. Harwood Academic Publishers, Amsterdam.
- Colinvaux P.A., De Oliveira P.E., Bush M.B. 2000. Amazon and Neotropical plant communities on glacial time scales: the failure of the aridity and refuge hypotheses. *Quaternary Science Reviews* **19**: 141-169.
- Colinvaux P.A., De Oliveira P.E. 2001. Amazon plant diversity and climate through the Holoceno. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **166**: 51-63.
- COMPANHIA PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. *Projeto Roraima Central*, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (inteiras), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1: 500.000. Estado do Amazonas. Brasília.
- COMPANHIA PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. 2003. *Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Roraima*. Brasília.
- Croudace I.W., Rindby A., Rothwell G. 2006. ITRAX: description and evaluation of a new multi-function X-ray core scanner. In: Rothwell R. G. (ed.), *New Techniques in Sediment Core Analysis*. Geological Society of London Special Publication, p. 51-63.
- Denevan W.M. 1992. The pristinemuth: the landscape of the Americas in 1492. *Annals of the Association of American Geographers*, **82**: 369-385.
- De Oliveira P.E. & Curtis J. 2001. Vegetação e clima durante o último ciclo glacial na Amazônia equatorial: o registro palinológico da Serra do Maicuru. In: Congresso da ABEQUA, Mariluz-Imbé, 2001. Boletim de resumos... São Paulo: ABEQUA, 1 CD-ROM.
- Desjardins T., Filho A., Mariotti A., Chauvel A., Girardin C. 1996. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene revealed by stable isotope ratios of soil organic carbon. *Oecologia*, **108**: 749-756.
- Dubroeuq D. & Volkoff B. 1998. From Oxisols to Spodosols and Histosols: evolution of the soil mantles in the Rio Negro basin (Amazônia). *Catena*, **32**: 245-280.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1997. *Manual de métodos de análise de solos*. 2.ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA. 212 pp.

- Enters D., Kirilova E., Lotter A.F., Lücke A., Parplies J., Jahns S., Kuhn G., Zolitschka B. 2010. Climate change and human impact at Sacrower See (NE Germany) during the past 13,000 years: a geochemical record. *Journal of Paleolimnology*, **43**: 719-737.
- Evensen N.M., Hamilton P.J., Onions R.K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **42**: 1199-1212.
- Faegri K. & Iversen J. 1989. *Textbook of Pollen Analysis*. Wiley, Chichester, United Kingdom. 328 pp.
- Ferraz-Vicentini K. R., Salgado-Labouriau M. L. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in central Brazil. *Journal of South American Earth Science*, **9**: 207-219.
- Ferreira I. M. 2003. *O afogar das veredas: uma análise comparativa espacial e temporal das veredas do chapadão de Catalão (GO)*. Tese de Doutorado. 242p.
- Fraga L.M.B., Reis N. J., Araújo R. V., Haddad R. C. 1996. Suíte Intrusiva Pedra Pintada - Um registro do magmatismo pós-colisional no estado de Roraima. Simpósio de Geologia da Amazônia, 5, Belém, 1996. *Anais...* Belém, Pará, SBG-Núcleo Norte p.:76-78.
- Freitas A. 1998. *Estudos sociais - Roraima: Geografia e História*. São Paulo, Corprint Gráfica e editora Ltda. 83 pp.
- Freitas H. A., Pessenda L.C.R., Aravena R., Gouveia S.E.M., De Souza Ribeiro A., Boulet R. 2001. Late Quaternary vegetation dynamics in the southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter. *Quaternary Research*, **55**: 39-46.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E TECNOLOGIA DE RORAIMA – FEMACT/RR. 2007. *Geologia e geomorfologia do estado de Roraima como subsídio a montagem e operacionalização do sistema estadual de recursos hídricos*. Boa Vista, Roraima. vol. 3. 164 pp.
- Gaudette H. E., Olszewski JR., W. J., Santos J. O. S. 1996. Geochronology of Precambrian rocks from the northern part of Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **9**: 183- 195.
- Gibbs P.E., Leitão Filho H.F., Shepherd G.J. 1983. Floristic Composition and community structure in an area of cerrado in SE Brazil. *Flora*, **173**: 433-449.
- Gosling W. D., Mayle F.E., Tate N.J., Killeen T. 2005. Modern pollen-rain characteristics of tall terra firme moist evergreen forest, southern Amazonia. *Quaternary Research*, **64**: 284-297.
- González V. 1987. *Los morichales de los Llanos Orientales*. Un enfoque ecológico. Ediciones Corpoven, Caracas.
- Gouveia S.E.M., Pessenda L.C.R., Aravena R., Boulet R., Roveratti R., Gomes B.M. 1997. Dinâmica de vegetações durante o Quaternário recente no sul do Amazonas indicada pelos isótopos do carbono (12C, 13C e 14C). *Geochimica Brasiliensis*, **11**: 355-367.

- Grimm E.C. 1987. CONISS: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. *Computer and Geosciences*, **13**: 13–35.
- Guimarães A. J. M. 2001. *Características do solo e da comunidade vegetal em área natural e antropizada de uma vereda na região de Uberlândia (MG)*. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 44p.
- Haberle S.G. & Maslin M.A. 1999. Late Quaternary vegetation and climate change in the Amazon basin based on a 50,000 year pollen record from the Amazon fan, PDP site 932. *Quaternary Research*, **51**: 27-38.
- Haffer J. 1969. Speciation in Amazonian forest birds. *Science*, **165**: 131-137.
- Haffer J. & Prance G. T. 2002. Impulsos climáticos da evolução na Amazônia durante o Cenozóico: sobre a teoria dos Refúgios da diferenciação biótica. *Estudos Avançados*, **16**: 175-206
- Hills T. L. & Randall E. (Eds.). 1968. The Ecology of the Forest-Savanna Boundary. McGill University, *Savanna Research Series*, **13**: 1–128.
- Hooghiemstra H. & Van der Hammen T. 1998. Neogene and Quaternary development of the neotropical rain forest: the forest refugia hypothesis, and a literature overview. *Earth Sci. Rev.*, **44**: 147-183.
- Horn C. 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **105**: 267-309.
- Horn C. 1994. An environmental reconstruction of the paleo-Amazon River system middle to late Miocene, NW Amazonia. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **112**: 187-238.
- Horn C., Guerrero J., Sarmiento G.A., Lorente M.A. 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America. *Geology*, **23**: 237-240.
- Horbe A.M.C. & Costa M.L. 1997. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílicoferruginosas. *Acta Amazonica*, **27**: 241-256.
- Horbe A.M.C. & Costa M.L. 1999. Relações genéticas entre latossolos e crostas lateríticas aluminosas e aluminoferruginosas na região de Paragominas - Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**: 477-504.
- Horbe A.M.C. & Costa M. L. 2005. Lateritic crusts and related soils in eastern Brazilian Amazonia. *Geoderma*, **126**: 225-239.
- Horbe A.M.C., Horbe M.A., Suguio K. 2004. Tropical Spodosols in northeastern Amazonas State, Brasil. *Geoderma*, **119**: 55-68.
- IBGE. 2005. *Mapa Geomorfológico do Estado de Roraima*. Rio de Janeiro.

- Irion G., Bush M.B., Nunes de Mello J.A., Stüben D. Neumann T., Muller G., Morais J.O., Junk J.W. 2006. A multiproxy palaeoecological record of Holocene lake sediments from the Rio Tapajós, eastern Amazonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **240**: 523–535.
- Jeske-Pieruschka V., Fidelis A., Bergamin R. S., Vélez E., Behling, H., 2010. Araucaria forest dynamics in relation to fire frequency in southern Brazil based on fossil and modern pollen data. *Review of Palaeobotany and Palynology*, doi:10.1016/j.revpalbo.2010.01.005.
- Kahn F. 1987. The distribution of palms as a function of local topography in Amazonian terra-firme forests. *Experientia*, **43**: 251-259.
- Latrubesse E. M. & Nelson B. W. 2001. Evidence for Late Quaternary Aeolian Activity in the Roraima–Guyana Region. *Catena*, **43**: 63-80.
- Lemos A. & Santos P. B. 1996. *Manual de descrição e coleta de solos em campo*. Campinas: SBCS/SNLCS. 46 pp.
- Lima S.C. 1996. *As veredas do Ribeirão Panga no Triângulo Mineiro e a evolução da paisagem*. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo. 260 p.
- Lima S.C. & Queiroz Neto J.P. 1996. As veredas e a evolução do relevo. *Sociedade e Natureza*, **15**: 481-488.
- Marchant R.A., Behling H., Berrío J.C., Cleef A., Duivenvoorden J., Van Geel B., Van der Hammen T., Hooghiemstra H., Kuhry P., Melie, B.M., Van Reenen G., Wille M. 2001. Mid- to Late-Holocene pollen-based biome reconstructions for Colombia. *Quaternary Science Reviews*, **20**: 1289–1308.
- Marchant R., Almeida L., Behling H., Berrío J.C., Bush M., Cleef A., Duivenvoorden J., Kappelle M., De Oliveira P., Teixeira de Oliveira-Filho A., Lozano-Garcia S., Hooghiemstra, H., Ledru M.P., Ludlow-Wiechers B., Markgraf V., Mancini V., Paez M., Prieto A., Rangel O., Salgado-Labouriau M.L. 2002. Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **121**: 1–75.
- Mayle F.E., Burbridge R.E., Killeen T.J. 2000. Millennial-scale dynamics of southern Amazonian rain forests. *Science*, **290**: 2291–2294.
- Melo D. R. 1992. *As veredas nos planaltos do noroeste mineiro: caracterizações pedológicas e os aspectos morfológicos e evolutivos*. Dissertação de mestrado, Rio Claro. 219 p.
- Meneses M. E. N. S., Costa M. L., Behling H. (Submetido). Late Holocene vegetation and fire dynamics from a savanna - forest ecotone area inferred from *Mauritia flexuosa* palm swamps (veredas) records in Roraima state, northern Brazilian Amazon region. *Review of Palaeobotany and Palynology*.

- Meneses M. E. N. S., Costa M. L., Costa J. A. V. 2007. Os lagos do lavrado de Boa Vista - Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**: 478-489.
- Miranda I. S. 1998. Flora, fisionomia e estrutura das savanas de Roraima, Brasil. Tese de Doutorado. INPA, Universidade do Amazonas. 200p.
- Miranda I.S. & Absy M.L. 1997. A flora fanerogâmica das savanas de Roraima. In: Barbosa, R.I., Ferreira, E.J.G., Castellón, E.G (Eds). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*, INPA, Manaus, AM, Brasil, p.: 445-462.
- Miranda I.S. & Absy M.L. 2000. Fisionomia das savanas de Roraima, Brasil. *Acta Amazônica*, **30**: 423-440.
- Montalvão R. M. G. & Pitthan J. H. L. 1974. Grupo Cauarane. In: Projeto RADAMBRASIL, Relatório interno 21-G, Belém, 7 pp.
- Montalvão R.M.G. de, Muniz M. de B., Issler R.S., Dall'Agnol R., Lima M.I.C. de, Fernandes P.E.C.A., Silva G.G. da. 1975. Geologia da Folha Na. 20 Boa Vista e parte das Folhas Na. 21 Tumucumaque, NB 20 Roraima e NB 21. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. *Folha NA 20 Boa Vista e parte das Folhas NA. 21 Tumucumaque, NB 20 Roraima e NB 21*. Rio de Janeiro (Levantamento de Recursos Naturais, 8).
- Nevle R.J. & Bird D.K., 2008. Effects of syn-pandemic fire reduction and reforestation in the tropical Americas on atmospheric CO₂ during European conquest. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **264**: 25-38.
- Niemann H. & Behling H., 2008. Late Quaternary vegetation, climate and fire dynamics inferred from the El Tiro record in the southeastern Ecuadorian Andes. *Journal of Quaternary Sciences*, **23**: 203-212.
- Nimer E. 1991. Clima. In: *Geografia do Brasil: Região Norte*. IBGE, Rio de Janeiro, p.: 61-71.
- Oliveira G.C. 2005. Perfil florístico e distribuição das espécies vegetais, com relação ao gradiente de umidade do solo, em seis veredas no Triângulo Mineiro. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia. 67 p.
- Pessenda L.C.R., Gomes B.M., Aravena R., Ribeiro A.S., Boulet R., Gouveia S.E.M., 1998. The carbon isotope record in soils along a forest-cerrado ecosystem transect: implication for vegetation changes in Rondônia State, southwestern Brazilian Amazon region. *The Holocene*, **8**: 631-635.
- Prance G.H. 1973. Phytogeographic support for the theory of Pleistocene forest refuges in the Amazonian basin, based on evidence from distribution patterns in Caryocaraceae, Chrysobalanaceae, Dichapetalaceae and Lecythidaceae. *Acta Amazonica*, **3**: 5-28.
- Prance G.T. 1981. "Discussion". In: Nelson G. & Rosen D.E. (eds.): *Vicariance Biogeography: A Critique*. Nova York: Columbia Univ. Press, p.: 395-405.

- Price J. R. & Velbel M. A. 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chemical Geology*, **202**: 397–416.
- Ramos M.V.V. 2000. Veredas do Triângulo Mineiro: solos, água e uso. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Lavras. 127 p.
- Rosen M.E., Linna A.M., Santos J.C.R., Negri F.R. 1995. Later Miocene tidal deposits in the Amazonian foreland basin. *Science*, **269**: 386-390.
- Ribeiro P.A.M., 1997. Arqueologia em Roraima: histórico e evidências de um passado distante. In: Barbosa, R. I., Ferreira E. J. G., Castellon E. G. (Eds). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. INPA. Manaus, p.: 3-24.
- Rodrigues I. D. 2006. *Estudos palinológicos em sedimentos do Holoceno do lago Caracaranã, Roraima, Brasil*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 163p.
- Roubik D.W. & Moreno J.E. 1991. *Pollen and spores of Barro Colorado Island*. Missouri Botanical Garden. 270 pp.
- Ruellan F. 1957. *Expedições Geomorfológicas no Território do Rio Branco*, INPA, Rio de Janeiro. 170pp.
- Rull V. 1992. Successional patterns of the Gran Sabana (southeastern Venezuela) vegetation during the last 5000 years, and its responses to climatic fluctuations and fire. *Journal of Biogeography*, **19**: 329-338.
- Rull V. 1998. Biogeographical and evolutionary considerations of *Mauritia* (Arecaceae), based on palynological evidence. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **100**: 109-122.
- Rull V. 1999. A palynological record of a secondary succession after fire in the Gran Sabana, Venezuela. *Journal of Quaternary Sciences*, **14**: 137-152.
- Salgado-Labouriau M.L. 1973. *Contribuição à palinologia dos cerrados*. Editora Academia Brasileira. Ciências, Rio de Janeiro, 291 pp.
- Salgado-Labouriau M.L., Casseti V., Ferraz-Vicentini K.R., Martin L., Soubiés F., Suguio K., Turq B. 1997. Late Quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from Central Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **128**: 215-226.
- Salgado-Labouriau M. L., Barbieri M., Ferraz-Vicentini K.R., Parizzi M.G. 1998. A dry climatic event during the late Quaternary of tropical Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **99**: 115-129.
- Sanford R.L., Saldarriaga J., Clark K.E., Uhl K., Herrera R. 1985. Amazon Rain-Forest Fires. *Science*, **227**: 53-55.

- Santos G.M., Gomes P.R.S., Anjos R.M., Cordeiro R.C., Turcq B.J., Sifeddine A., Di Tada M.L., Cresswell R.G., Fifield L.K., 2000. ^{14}C AMS dating of fires in the central Amazon rain forest. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **172**: 761-766.
- Sarmiento G. & Monasterio M. 1975. A critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystems in tropical America. In: Golley, F.B & Medina, E. (Eds). *Tropical Ecological Systems, trends in Terrestrial and Aquatic Research*. Springer-Verlag, Berlin. p.: 223-250.
- Schaefer C.E.G.R. 1994. Quaternary paleosols of the Cotingo catchment, Roraima, Amazonia: Paleoweathering and paleoclimate. In: Proc. 14th Int. Sedimentological Congress, Recife (S), p.: 16- 18.
- Schaefer C. E. R. & Dalrymple J. 1996. Pedogenesis and relict properties of soils with columnar structure from Roraima, north Amazonia. *Geoderma*, **71**: 1-17.
- Shepard F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt clay ratio. *J. Sediment Petrology*, **24**: 151-158.
- Sette Silva E.L. 1993. Inventário preliminar das espécies arbóreas das florestas dos arredores de Boa Vista (Roraima) – Uma abordagem fitossociológica. Dissertação de Mestrado. INPA, Universidade do Amazonas. 198 p.
- Sifeddine A, Bertrand P., Fournier M., Martin L., Servant M., Soubies F., Suguio K., Turcq B., 1994. La sédimentation organique lacustre en milieu tropical humide (Carajas, Amazonie Orientale, Bresil): relation avec les changements climatiques au cours des 60.000 dernières années. *Bull. Soc. Geol. France*, **6**: 613- 621.
- Simões Filho F.F.L. 2000. Sedimentação lacustre e implicações paleoambientais na região de contato floresta-savana de Roraima durante o Holoceno. Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 213 p.
- Stuiver M. & Reimer P.J. 1993. Extended ^{14}C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, **35**:215-230
- Stute M., Forster M., Frischkorn H., Serejo A., Clark J.F., Schlosser P., Broecker W.S., Bonani G. 1995. Cooling of tropical Brazil during the last glacial maximum. *Science*, **269**: 379-383.
- Suguio K. 2003. *Geologia Sedimentar*. São Paulo: Edgard Blücher. 400 pp.
- Tardy . 1993. *Pétrologie des latérites et des sols tropicaux*. In: Masson (ed.) 459 pp.
- Taylor S.R. & McLennan S.M. 1985. *The continental crust its composition and evolution*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 312 pp.
- Urrego-Giraldo L.E. 1994. Los bosques inundables del medio Caquetá (Amazonia Colombiana). Caracterización y sucesión. PhD thesis - Univ. of Amsterdam. 235 p.
- Van der Hammen T. 1957. Climatic periodicity and evolution of South American Maestrichtian and Tertiary floras. *Bol. Geol.*, **2**: 49 91.

- Van der Hammen T. 1982. Paleoeecology of tropical South America. In: Prance, G. (Ed.), *Biological Diversification in the Tropics*. Columbia Univ. Press, New York, p.: 60–66.
- Van der Hammen T. 1991. Palaeoecology of the Neotropics: an overview of the state of affairs. *Bol. Inst. Geociênc.*, **8**:35-55.
- Van der Hammen T. & Absy M.L. 1994. Amazonia during the last glacial. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **109**: 247–261.
- Van der Hammen T. & Hooghiemstra H. 2000. Neogene and Quaternary history of vegetation, climate, and plant diversity in Amazonia. *Quaternary Science Reviews*, **19**:725-742.
- Vanzolini P.E. & Carvalho C.M. 1991. Two sibling and sympatric species of *Gymnophthalmus* in Roraima, Brazil (Sauria Teiidae). *Papéis Avulsos de Zoologia*, **37**: 173–226.
- Vanzolini P. E. & Willians E. E. 1970. South American anoles: the geography different and evolution of the *Anolis chrysolepis* species group (Sauria, Iguanidae). *Arq. Zool.* **1-2**: 1 – 124.
- Veloso H.P., Goes-Filho L., Leite P.F., Barros-Silva S., Ferreira H.C., Loureiro R.L., Terezo E.F.M. 1975. *Folha NA.20 Boa Vista e Parte das Folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21*. Rio de Janeiro, *Projeto Radambrasil: Vegetação*, DNPM. p. 307-406.
- Wijmstra T.A. & Van der Hammen T. 1966. Palynological data on the history of tropical savannas in northern South America. *Leidse Geologische Mededelingen*, **38**: 71-90.
- Wille M., Negret J.A., Hooghiemstra H. 2000. Paleoenvironmental history of the Popayan are since 2700 yr BP at Timbio, Southern Colombia. *Review of Paleobotany and Palynology*, **109**: 45-63
- Wille M., Hooghiemstra H., Van Geel B., Behling H., Jong A., Van der Borg K. 2003. Submillennium-scale migrations of the rainforest-savanna boundary in Colombia: 14C wiggle-matching and pollen analysis of core Las Margaritas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **193**: 201-223
- Wedepohl K. H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59**: 1217-1232.
- Whitemore T.C. & Prance G.T. 1987. *Biogeography and Quaternary History in Tropical America*. Oxford University Press, Oxford, 214 pp.